

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**STUDIE VYTÁPĚNÍ BYTOVÉHO DOMU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mikolášek** Jméno: **Roman** Osobní číslo: **423353**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Studie vytápění bytového domu**

Název diplomové práce anglicky:

**Study of Heating for a Block of Flats**

Pokyny pro vypracování:

Studie vytápění bytového domu s ohledem na návrh systému vytápění a přípravy teplé vody. Studie bude zahrnovat řešení alternativních systémů dodávky energií ve smyslu vyhlášky č. 78/2013 Sb. v porovnání s návrhem plynové kotelny s kondenzační technologií. Příprava teplé vody bude řešena akumulacním způsobem s přihlédnutím k navrženému zdroji tepla. Studie bude obsahovat základní požadavky na větrání bytového domu se zpětným získáváním tepla.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Bašta, J.: Otopné plochy. Vydavatelství ČVUT, 2001. 328 s. ISBN 80-01-02365-6.
- 2) Bašta, J., Vavříčka, R.: Otopné plochy ? cvičení. Vydavatelství ČVUT, 2005. 109 s. ISBN 80-01-03344-9.
- 3) Bašta, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Vydavatelství ČVUT, 2003. 252 s. ISBN 80-01-02808-9.
- 4) Brož. K.: Vytápění. Vydavatelství ČVUT, 2002. 205 s. ISBN 80-01-02536-5.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


**Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS**

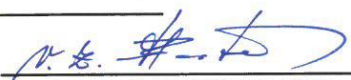
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **26.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.06.2018**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

  
Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

**26.4.2018**

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## SOUHRN

Diplomová práce se zabývá studií vytápění pro panelový dům o 6 NP a 12 NP. Tepelná ztráty byly vypočteny podle ČSN EN 12 831 před a po zateplení obou budov. Podle vypočtených tepelných ztrát byly navrženy varianty zdrojů tepla. Dále je v práci vypočtena potřeba teplé vody a navržen ohřívač teplé vody. V rámci diplomové práce bylo řešeno nucené větrání formou studie v podobě návrhu jednotky pro zpětné získávání tepla. Schéma zapojení spolu s výkresy půdorysu technické místnosti byly vyhotoveny pro každou variantu zdroje tepla. Závěrem bylo provedeno zhodnocení jednotlivých variant z pohledu finančních nákladů a doby návratnosti.

## Summary

The thesis deals with a study of heating for a residential building with 6 and 12 floors. Thermal losses were calculated according to the standard ČSN EN 12 831 for a state before and after thermal insulation. Heat sources were designed based on the heat losses. A demand of hot water preparation was solved and a storage water heater was designed. The thesis also solves the question of forced ventilation and proposes the design of an unit for the heat recuperation . The wiring diagrams and the drawings of technical room were made for each variant of the heat source. Finally the complete evaluation of individual variants was made from point of the financial costs and the payback time.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci s názvem: „Studie vytápění bytového domu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 22.06.2018

Roman Mikolášek

## PODĚKOVÁNÍ

Dovolte abych následujících pár vět věnoval těm, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Opravdu veliký dík patří rodičům a rodině za psychickou, ale především materiální podporu. Velice také musím poděkovat za odborné vedení a velkou dávku trpělivosti, kterou jsem byl obdařen od vedoucího diplomové práce pana Ing. Romana Vavříčky Ph.D.

## Obsah:

1.	Úvod .....	15
1.1	Panelové domy.....	15
1.1.1	Charakterizace objektu .....	16
2.	Specifikace tepelně technických vlastností budovy .....	17
2.1	Před rekonstrukcí .....	17
2.2	Po rekonstrukci .....	17
3.	Princip výpočtu tepelných ztrát .....	18
3.1	Výpočet tepelných ztrát .....	19
4.	Otopná soustava .....	22
4.1	Rozvržení otopné soustavy .....	22
4.2	Teplotní spád soustavy.....	22
4.2.1	Teplotní spád pro centralizované zásobováním teplem .....	22
4.2.2	Teplotní spád pro plynovou kotelnu .....	23
4.2.3	Teplotní spád pro tepelné čerpadlo .....	24
4.3	Rozvody otopné vody.....	25
4.4	Otopná tělesa.....	25
4.4.1	Dimenzování otopných těles.....	26
4.4.2	Původní otopná tělesa .....	27
4.4.3	Otopná tělesa pro tepelné čerpadlo .....	27
4.4.4	Návrh otopných těles .....	29
5.	Hydraulické výpočty .....	30
5.1	Návrh dimenze potrubí v otopné soustavě.....	30
5.2	Tlakové ztráty .....	31
5.2.1	Tlakové ztráty třením .....	31
5.2.2	Tlakové ztráty místními odpory .....	34
5.2.3	Celková tlaková ztráta .....	34
5.3	Vyvážení otopné soustavy.....	34
5.3.1	Vyvážení jednotlivých stoupacích potrubí .....	35
5.3.2	Vyvážení na otopných tělesech.....	37
5.4	Trojcestná směšovací armatura .....	38
5.4.1	Návrh trojcestné směšovací armatury .....	38
5.5	Oběhová čerpadla .....	39
5.5.1	Oběhová čerpadla pro dům o 6 NP.....	40
5.5.2	Oběhová čerpadla pro dům o 12 NP.....	41

6.	Větrání.....	43
7.	Příprava teplé vody .....	44
7.1	Příprava teplé vody pro dům o 6 NP .....	44
7.1.1	Potřeba teplé vody dle ČSN EN 15316-3-1.....	44
7.1.2	Návrh akumulčního zásobníku dle DIN 4708 .....	47
7.2	Příprava teplé vody pro 12. NP dům .....	49
7.2.1	Potřeba teplé vody dle ČSN EN 15316-3-1.....	49
7.2.2	Návrh akumulčního zásobníku dle DIN 4708 .....	50
7.3	Rozvody teplé vody a cirkulace .....	50
7.3.1	Hydraulické vyvážení rozvodů teplé vody.....	52
7.3.2	Návrh cirkulačního čerpadla .....	53
7.3.3	Tepelná izolace rozvodů teplé vody a cirkulačního potrubí.....	54
8.	Zdroje tepla .....	55
8.1	Centralizované zásobování teplem .....	55
8.2	Plynová kotelna .....	55
8.2.1	Plynová kotelna pro dům o 6 NP.....	55
8.2.2	Plynová kotelna pro dům o 12 NP.....	56
8.2.3	Plynová kotelna III kategorie.....	57
8.2.4	Odvod spalin.....	58
8.3	Tepelné čerpadlo.....	59
8.3.1	Tepelná čerpadla pro dům o 6 NP.....	59
8.3.2	Tepelná čerpadlo pro dům o 12 NP .....	61
8.4	Solární technika.....	62
8.4.1	Solární zásobník.....	62
8.4.2	Energie .....	62
9.	Regulace .....	63
9.1	Regulace otopné soustavy .....	63
9.1.1	Regulace podle venkovní teploty .....	63
9.2	Regulace teplé vody .....	63
9.3	Regulace zdroje tepla .....	64
10.	Pojistné a zabezpečovací zařízení .....	65
10.1	Pojistné zařízení .....	65
10.2	Zabezpečovací zařízení.....	66
11.	Potřeba tepla.....	67
12.	Doba návratnosti jednotlivých variant.....	71
12.1	Dům o 6 NP .....	71

12.2	Dům o 12 NP .....	73
12.3	Ekonomické zhodnocení .....	76
13.	Závěr.....	79
13.1	Centralizované zásobování teplem .....	79
13.2	Plynová kotelna.....	80
13.3	Tepelné čerpadlo.....	80
13.4	Solární systém .....	81



## SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

$U$	Součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> · K]
$c$	Měrná tepelná kapacita	[J/kg · K]
$H_{T,ie}$	Součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,iue}$	Součinitel tepelné ztráty nevytápěným prostorem	[W/K]
$H_{T,ig}$	Součinitel tepelné ztráty do přilehlé zeminy	[W/K]
$H_{V,i}$	Součinitel tepelné ztráty větráním	[W/K]
$H_{T,ij}$	Součinitel tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách	[W/K]
$f_{ij}$	Redukční teplotní činitel	[–]
$\theta_e$	Výpočtová venkovní teplota	[°C]
$\theta_{int,i}$	Výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru	[°C]
$\Phi_{ti}$	Navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$\Phi_{V,i}$	Navrhovaná tepelná ztráta větráním	[W]
$\Phi_i$	Celková tepelná ztráta	[W]
$\psi_l$	Lineární činitel prostupu tepla	[W/m · K]
$l_l$	Délka každého lineárního tepelného mostu	[m]
$V_l$	Vnitřní objem vzduchu každé místnosti	[m <sup>3</sup> ]
$A_k$	Plocha každé stavební části	[m <sup>2</sup> ]
$\dot{V}$	Objemový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$n$	Násobnost výměny vzduchu v místnosti	[1/h]
$c$	Měrná tepelná kapacita	[J/kg · K]
$c^*$	Teplotní podílový součinitel	[–]
$\Delta t_{ln}$	Logaritmický rozdíl teplot při provozních podmínkách	[–]
$\Delta t_{n,ln}$	Logaritmický rozdíl teplot při jmenovitých podmínkách	[–]
$f_{\Delta t,ln}$	Opravný součinitel na teplotní rozdíl	[–]

$\dot{m}$	Hmotnostní průtok otopné vody	[kg/s]
$Q$	Výkon otopného tělesa	[W]
$Q_n$	Výkon otopného tělesa za jmenovitých podmínek	[W]
$t_{wm}$	Střední teplota vody	[°C]
$t_D$	Teplota okolního vzduchu	[°C]
$t_{wmn}$	Střední teplota vody za jmenovitých podmínek	[°C]
$t_{Dn}$	Teplota okolního vzduchu za jmenovitých podmínek	[°C]
$n$	Teplotní exponent tělesa	[–]
$\dot{m} \cdot$	Hmotnostní průtok tělesem	[kg/s]
$c \cdot$	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg · K]
$\Delta t$	Teplotní spád otopného tělesa	[°C]
$t_{w1}$	Vstupní voda do otopného tělesa	[°C]
$t_{w2}$	Výstupní voda z otopného tělesa	[°C]
$\Delta p_t$	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$\lambda$	Součinitel tlakové ztráty třením	[–]
$d$	Vnitřní průměr potrubí	[m]
$k$	Absolutní drsnost potrubí	[m]
$\rho_{v0}$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	Střední rychlost	[m/s]
$d$	Vnitřní průměr potrubí	[m]
$\nu$	Kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> /s]
$\Delta p_{m, Z}$	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\zeta_i$	Součinitel místního odporu	[–]
$n_o$	Počet místních odporů v úseku	[–]
$w_{ek}$	Ekonomická střední rychlost	[m/s]
$w_{sk}$	Skutečná střední rychlost	[m/s]

$\Delta p_t$	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$\lambda$	Součinitel tření	[–]
$w$	Střední rychlost proudění v potrubí	[m/s]
$l$	Délka potrubí	[m]
$\rho_{v0}$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$Re$	Reynoldsovo číslo	[–]
$w$	Střední rychlost	[m/s]
$d$	Vnitřní průměr potrubí	[m]
$\nu$	Kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> /s]
$\Delta p_t$	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$R$	Tlakový spád	[Pa/m]
$L$	Délka úseku	[m]
$\Delta p_m$	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\zeta_i$	Příslušný součinitel místního odporu	[–]
$w$	Střední rychlost	[m/s]
$n_o$	Počet místních odporů v úseku	[–]
$\rho$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta p_c$	Celková tlaková ztráta	[Pa]
$K_v$	průtokový součinitel armaturou	[m <sup>3</sup> /hod]
$q$	průtok armaturou	[l/h]
$\Delta p$	tlaková ztráta armatury	[kPa]
$P_v$	autorita ventilu pro trojcestné směšovací ventily volíme 0,7	[–]
$\Delta p_{var}$	tlaková ztráta tlaková ztráta zařízení s proměnným průtokem	[Pa]
$\Delta p_{VS}$	tlaková ztráta plně otevřeného ventilu	[Pa]
$K_{vs}$	jmenovitý průtok armaturou při jejím maximálním otevření	[m <sup>3</sup> /hod]
$\dot{V}$	objemový průtok armaturou	[m <sup>3</sup> /h]

$\Delta p_{100}$	tlaková ztráta 100kPa	[kPa]
$\Delta p_{vs}$	tlaková ztráta armatury	[kPa]
$V_w$	specifická potřeba teplé vody na osobu	[l/osobu · den]
$n$	počet obyvatel v domě	[–]
$V_p$	potřeba teplé vody na den	[m <sup>3</sup> /den]
$Q_t$	teplo pro ohřev vody	[kWh/den]
$Q_z$	teplo ztracené při ohřevu a distribuci	[kWh/den]
$Q_p$	teplo dodané ohřivačem teplé vody	[kWh/den]
$\rho$	hustota vody při střední střední teplotě zásobníku	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg · K]
$t_2$	teplota teplé vody	[°C]
$t_1$	teplota studené vody	[°C]
$z$	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci teplé vody	[–]
$V_z$	objem zásobníku teplé vody	[m <sup>3</sup> ]
$\Delta Q_{max}$	rozdíl mezi dodávkou a potřebou tepla	[kWh]
$c^* = \frac{c}{3600 \cdot 1000} \cdot \rho$	upravená tepelná kapacita	[kWh/m <sup>3</sup> · K]
$N$	koeficient potřeby	[–]
$n$	počet bytů	[–]
$p$	koeficient obsazenosti nebo počet osob	[–]
$w_V$	potřeba tepla odběrných míst	[kWh]
$Q_N$	jednotkový byt	[kWh]
$Q_c$	průtok cirkulačním čerpadlem pro hrazení ztrát potrubí	[m <sup>3</sup> /s]
$q$	tepelná ztráta úseku přívodního potrubí	[W]
$\Delta t$	rozdíl teplot vody mezi výstupem a cirkulač. p.	[K]
$q_t$	délková tepelná ztráta přívodního úseku potrubí	[W/m]

$l$	délka úseku	[m]
$\theta_{stř}$	střední teplota vody v přívodním potrubí	[°C]
$\theta_{vzd}$	teplota vzduchu v okolí tepelné izolace přívodního potrubí	[°C]
$\lambda_{\theta j}$	součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky nebo její izolace	[W/m · K]
$d_z$	vnější průměr vrstvy (trubky nebo izolace)	[m]
$d_v$	vnitřní průměr vrstvy (trubky nebo izolace)	[m]
$\alpha_e$	součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu tepelné izolace potrubí	[W/m <sup>2</sup> · K]
$d_e$	vnější průměr tepelné izolace trubky	[m]
$m$	počet vrstev	[–]
$V_{EN}$	Objem expanzní nádoby	[l]
$V_s$	Objem vody v otopné soustavě	[l]
$n$	Součinitel zvětšení objemu	[–]
$\eta$	Stupeň využití expanzní nádoby	[–]
$p_{h,dov,abs}$	Součinitel zvětšení objemu	[kPA]
$p_{otv}$	Otevírací přetlak pojistného ventilu	[kPA]
$p_{d,dov,abs}$	Hydrostatický absolutní tlak	[kPA]
$h$	Výška vodního sloupce nad expanzní nádobou	[m]
$\rho$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$p_B$	Barometrický tlak	[kPA]
$Q_H$	Potřeba tepla tepelnou ztrátou prostupem	[kWh]
$H_T$	Měrný tepelný tok prostupem tepla	[W/K]
$n_{hod}$	Počet hodin v měsíci	[hod]
$\theta_i$	Průměrná vnitřní teplota	[°C]
$\theta_e$	Průměrná venkovní teplota za dané období	[°C]
$Q_V$	Potřeba tepla tepelnou ztrátou větráním	[kWh]

$H_V$	Měrný tepelný tok větráním	[W/K]
$F_{sh}$	Korekční činitel stínění	[–]
$g_n$	Celková propustnost zasklení	[–]
$I_{sol}$	Celkové solární záření za měsíc	[kWh/m <sup>2</sup> ]
$\Phi_{r,i}$	Sálání vůči obloze	[W/m <sup>2</sup> ]
$\Phi_{zisk}$	Tepelné zisky vnější	[kWh]

# 1. Úvod

Člověk byl v přírodě jako jedinec velice zranitelný a bez možnosti úkrytu a odpočinku i velice napadnutelný. Nezbytné pro přežití bylo, aby se lidé zdržovali ve skupinách a vzájemně si pomáhali. Společnými silami poté vybudovávali různé přístřešky až po sofistikována obydlí soustředících se do velkých celků dnešních měst. S rostoucím porozuměním a věděním lidstva se budovy začali postupem času stavět více do výšky kdy v jednom domě žije několik desítek lidí. Cílem bylo zajistit finančně dostupné a zároveň kvalitní bydlení pro velkou spoustu lidí v relativně krátkém čase. Nesmí být ovšem opomenutý návrh technologie pro dosažení tepelné pohody ve vnitřním prostředí.

V místnostech s vyšší teplotou dochází k tepelným ztrátám prostupem tepla konstrukcemi do místností nebo okolí s menší teplotou. To je zapříčiněno snahou (přírody) okolí docílit rovnováhy. Tento jev má za následek snižování teploty v dané místnosti, čemuž se snažíme zabránit izolací, abychom snížili co nejvíce tepelný tok do okolí. To je ovšem stále nedostačující, proto musíme teplo dodávat. Z tohoto důvodu je zapotřebí instalovat v dané místnosti vytápění, které uhradí uniklé tepelná ztráty a zajistí tak tepelnou pohodu v místnosti.

„Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo - člověk se cítí příjemně.“ [1]

## 1.1 Panelové domy

Na počátku byla zajímavá myšlenka zajištění kvalitního bydlení pro velkou spoustu lidí s dostatečným množstvím zeleně a vytvořením klidové zóny pro život a relaxaci. Bohužel ne vždy byla tato myšlenka naplněna. „Konstrukční metody k výrobě prefabrikátů vyvinuli Američané už začátkem 20. století“ [2]. Prvním stavitelem panelových domů bylo Nizozemsko, které po první světové válce ještě dále vynalezenou technologii zdokonalilo. Panelové domy se nestavěly pouze v zemích sovětského svazu, ale byli budovány po celém světě, například v západní Evropě, Americe nebo Kanadě. Sídliště, mnohdy i celá města vystavěná z panelových prefabrikátů se stala ideologií režimu v dobách tuhého komunismu, kde zažívala tato výstavba největší rozmach.

Masivní výstavba panelových bytových domů probíhala převážně v 2. polovině 20. století, a to konkrétně od roku 1954 do roku 1990, kdy byla velká poptávka po finančně dostupném bydlení.

První panelový dům v České republice byl postaven v roce 1954 ve Zlíně. Lokalita výstavby není náhoda, neboť firma Baťa v tomto směru experimentovala již před druhou světovou válkou. Nejrozšířenější období výstavby panelových domů bylo v 70 letech minulého století, v tomto období vznikla přibližně polovina všech panelových domů. V České republice je několik tisíc panelových domů, ve kterých žije zhruba 1/4 obyvatel. Skladba obyvatel z pohledů majetku je různorodá. Panelové domy obývají jak bohatí lidé s vysokým postavením, tak lidé žijící na hranici chudoby.

Posuzované panelové domy jsou vyhotoveny z panelu typu OP 1.11. „Konstrukční soustava OP 1.11 je jedna z těch nejmladších, byla stavěna v letech 1980 až 1990.“ [3] První bytové domy s konstrukční soustavou OP 1.11 byli stavěni od dubna roku 1980. Tyto konstrukční prvky se vyznačovali vysokou prefabrikací z výroby. Jednalo se o poměrně náročnou výrobu v továrnách, kdy se panely již osazovali okny a těsníci prvky. V továrnách se již prováděla i finální fasáda povrchu vnější části panelu. Takový to postup velice zrychlil a zkvalitnil samotnou stavbu, nicméně prodlužoval čas výroby v továrnách.

### 1.1.1 Charakterizace objektu

Řešené objekty se nachází na Praze 5 Barandov. Jedná se objekty postavené v roce 1982 a to dva domy o 6 nadzemních podlažích a dva domy o 12 nadzemních podlaží. Bytové domy byly zhotoveny z panelu typu OP1.11. Každý objekt je kompletně podsklepený, ve sklepních prostorách je umístěna technická místnost, prádelna, sušárna, kolárna a sklepní koje pro sklad věcí. Sklepní prostory jsou zapuštěny 1,3 metru pod úroveň terénu. Domy o 6 NP a 12 NP prošly rekonstrukcí výměny výplní v otvorech a zateplením spolu s instalací vzduchotechnické jednotky pro centrální větrání domu. Zbylé dva objekty byly ponechány v původním stavu. V každém patře bytového domu se nachází 4 bytové jednotky. Každá bytová jednotka je složena z šesti místností. Výjimku tvoří byty nesoucí označení B2 neboť od 2. NP je tato bytová jednotka tvořena 9 místnostmi.



## 2. Specifikace tepelně technických vlastností budovy

### 2.1 Před rekonstrukcí

Obvodové zdivo je realizováno panelovým sendvičovým zdivem nesoucím označení OP 1.11 tloušťky 300 mm se součinitelem prostupu tepla  $U=0,6$  [ $W/m^2 \cdot K$ ]. Strop mezi podlažími je konstruován jako stropní panel o tloušťce 200 mm se součinitelem prostupu tepla  $U=0,8$  [ $W/m^2 \cdot K$ ]. Skladba podlahy dosahuje součinitele prostupu tepla  $U=1,01$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] kde se pod základy nachází zemina pod hladinou spodní vody. Na budově jsou osazena původní dřevěná okna s balkonovými dveřmi také ze dřeva dosahujícími hodnoty součinitele prostupu tepla  $U=2,7$  [ $W/m^2 \cdot K$ ]. Konstrukce rámu okna je vyrobena převážně ze smrkového dřeva. Vchodové dveře jsou použity s hodnotou součinitele prostupu tepla  $U=3$  [ $W/m^2 \cdot K$ ]. Z důvodu staršího data výstavby hodnoty součinitele prostupu tepla nevyhovují požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla dle normy ČSN EN 73 0540-2 platné od roku 2011 do současnosti.

### 2.2 Po rekonstrukci

Na objektu byla provedena rozsáhlá rekonstrukce zejména obvodového pláště. Hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] u rekonstruovaných konstrukcí byly navrhovány na hodnoty součinitele prostupu tepla doporučené pro pasivní domy  $U_{pas,20}$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] dle ČSN 73 0540-2. Obvodové zdivo bylo opatřeno 200 mm tlustou tepelnou izolací z pěnového polystyrénu Isover EPS 70 F. Celková tloušťka obvodové konstrukce po rekonstrukci činí 500 mm se součinitelem prostupu tepla  $U=0,15$  [ $W/m^2 \cdot K$ ].

Strop mezi jednotlivými podlažími je konstruován jako stropní panel o tloušťce 200 mm se součinitelem prostupu tepla  $U=0,8$  [ $W/m^2 \cdot K$ ]. Podlahy v 1. PP jsou tvořeny vrstvou betonové mazaniny, hydroizolací, tepelnou izolací Isover EPS 200, hydroizolací. Součinitel prostupu tepla podlahou je  $U=0,16$  [ $W/m^2 \cdot K$ ].

Střecha je zateplena 140 mm střešního polystyrénu Isover EPS 100 se součinitelem prostupu tepla  $U=0,14$  [ $W/m^2 \cdot K$ ].

Na objektu jsou použita pět komorová plastová okna Vekra Prima s izolačním trojsklem dosahující součinitele prostupu tepla  $U=0,7$  [ $W/m^2 \cdot K$ ], pět komorové balkonové dveře Vekra Prima s izolačním trojsklem dosahující součinitele prostupu tepla

$U=0,7$  [W/m<sup>2</sup>.K] a šesti komorové vchodové dveře Vekra komfort Evo 6 komorová s izolačním trojsklem dosahující součinitele prostupu tepla  $U=0,9$  [W/m<sup>2</sup>.K]. Výrobce Window Holding a.s. uvádí vlastnosti výrobků specifikované harmonizovanou normou ČSN EN 14351+A1. Norma výrobku, funkční vlastnosti – Část 1: Okna a vnější dveře bez vlastností požární odolnosti nebo kouřotěsnosti.

### 3. Princip výpočtu tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát byl proveden pro každou místnost v objektu. Veškeré místnosti jsou vytápěny a mají tudíž tepelnou ztrátu, která je zapotřebí hradit instalací otopné soustavy. Výpočet tepelných ztrát byl proveden podle normy ČSN EN 12 831. Tepelná ztráta byla stanovena pro 4 varianty bytového domu. Konkrétní varianty jsou rekonstruovaný a původní stav budovy s 6. NP, rekonstruovaný a původní stav budovy s 12. NP.

Pro stanovení tepelné ztráty objektu dle ČSN EN 12 831 byly stanoveny vnitřní výpočtové teploty v jednotlivých typech místností dle způsobu jejich užívání. Pobytové prostory mají vnitřní výpočtovou teplotu  $\theta_{int,i} = 20$  °C, koupelny  $\theta_{int,i} = 24$  °C, společné prostory jako chodby a vstupní prostory v domě  $\theta_{int,i} = 10$  °C a sklepní prostory  $\theta_{int,i} = 5$  °C. Venkovní výpočtová teplota byla taktéž stanovena dle normy ČSN EN 12 831 pro lokalitu Praha  $\theta_e = -12$  °C s délkou otopného období 216 dnů. Budova je nechráněná samostatně stojící.

Tepelná ztráta větráním byla vypočtena pro hodnoty minimálních intenzit výměny vzduchu v místnosti stanovených normou ČSN EN 12 831. Obytné místnosti mají stanovenou minimální intenzitu výměny vzduchu  $n_{min}=0,5$  h<sup>-1</sup> a pro kuchyně nebo koupelny je počítáno s hodnotou minimální intenzity výměny vzduchu  $n_{min}=1,5$  h<sup>-1</sup>. Před rekonstrukcí objektu bylo větrání místnosti řešeno otevíráním oken, kdy dochází ke krátkému, ale intenzivnímu provětrání dané místnosti. Jednotka pro centrální rovnotlaké větrání nebyla před rekonstrukcí v objektech instalována. Po rekonstrukci objektu byla hodnota minimální intenzity výměny vzduchu požadovaná normou ČSN EN 12 831 nebyla dosažena, z tohoto důvodu je v objektu instalována centrální vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla. Výrazně tím přispívá k úspoře potřeby tepla na hrazení tepelné ztráty větráním. Vzduchotechnická jednotka není osazena žádným dalším

výměníkem pro chlazení nebo ohřev vzduchu kromě výměníku pro zpětné získávání tepla. Tepelná ztráta větráním je hrazena otopnými tělesy.

### 3.1 Výpočet tepelných ztrát

Tepelná ztráta byla stanovena pro každou místnost jako součet návrhové tepelné ztráty prostupem  $\Phi_{ti}$  a návrhové tepelné ztráty větráním  $\Phi_{V,i}$ . Do výpočtu tepelné ztráty dle ČSN EN 12 831 byly zahrnuty vlivy lineárních tepelných mostů  $\psi_l$ . Procentuální podíl lineárního tepelného mostu budovy v původním stavu činí 90 %, po rekonstrukci se tento podíl výrazně sníží na hodnotu 10%. Návrhová tepelná ztráta na větrání byla v původní variantě počítána bez zpětného získávání tepla kvůli absenci centrálního větrání v půdním projektu, a to jak v dome o 6 NP tak 12 NP.

Celková tepelná ztráta 6 NP objektu před rekonstrukcí činí 140 kW. Součinitel tepelné ztráty prostupem do venkovního prostředí pro tuto budovu činí celkově  $H_{T,ie}=3\,301$  [W/K] a součinitel tepelné ztráty větráním celkově činí  $H_{V,i}=889$  [W/K]. Po rekonstrukci a instalaci centrálního větrání u domu o 6 NP klesla celková tepelná ztráta na hodnotu  $\Phi_i=45$  kW. Součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí pro rekonstruovanou budovu činí celkově  $H_{T,ie}=1\,192$  [W/K] a součinitel tepelné ztráty větráním celkově činí  $H_{V,i}=135$  [W/K].

Tepelná ztráta objektu o 12 NP činí před rekonstrukcí  $\Phi_i=260$  kW. Kde součinitel tepelné ztráty do venkovního prostoru činí  $H_{T,ie}=7\,082$  [W/K] a součinitel tepelné ztráty větráním celkově činí  $H_{V,i}=1\,520$  [W/K]. Po rekonstrukci objektu a instalaci vzduchotechnického zařízení pracujícího s účinností zpětného získávání tepla 85% byla celková tepelná ztráta snížena na hodnotu  $\Phi_i=79$  kW. Pokles nastal i v součiniteli tepelné ztráty do venkovního prostoru prostupem  $H_{T,ie}=2\,183$  [W/K] a součinitel tepelné ztráty větráním činí  $H_{V,i}=274$  [W/K].

Tab. 1 Přehled tepelných ztrát v jednotlivých místnostech Bytu B1 před rekonstrukcí

místnost	číslo místnosti	Vnitřní výpočtová teplota (°C)	celková tepelná ztráta (W)
Pokoj	101	20	1254W
Kuchyň	102	20	944W
Obývací pokoj	103	20	1388W
Koupelna	104	24	323W
Chodba	105	20	710W
Pokoj	106	20	1237W

Celková tepelná ztráta bytu B1 v 1 NP je 5,85 kW.

Tab. 2 Přehled tepelných ztrát v jednotlivých místnostech Bytu B1 po rekonstrukci

místnost	číslo místnosti	Vnitřní výpočtová teplota (°C)	celková tepelná ztráta (W)
Pokoj	101	20	527W
Kuchyň	102	20	259W
Obývací pokoj	103	20	486W
Koupelna	104	24	323W
Chodba	105	20	652W
Pokoj	106	20	1237W

Celková tepelná ztráta bytu B1 v 1 NP je 2,9 kW.

Z důvodu stejných rozměrů a dispozičního řešení bytových jednotek jako u domu 6 NP, tak i domu o 12 NP dostáváme stejné uspořádání místností v jednotlivých patrech pro oba domy. Tepelné ztráty z pohledu jedné bytové jednotky před rekonstrukcí jsou shodné jak pro dům o 6 NP, tak pro dům o 12 NP. Tepelná ztráta pro jednotlivá patra viz příloha P1a P2. Po rekonstrukci je shodnost dispozičního řešení nadále zachována.

## 4. Otopná soustava

„Otopná soustava zajišťuje přenos tepla ze zdroje do jednotlivých vytápěných místností.“ [4] Jedná se o soubor technických řešení ústředního vytápění pro distribuci tepla po objektu v požadovaném množství. Mezi hlavní komponenty otopné soustavy patří zdroj tepla, potrubí rozvody, otopná tělesa., pojistné a zabezpečovací zařízení.

### 4.1 Rozvržení otopné soustavy

Otopná soustava je uspořádána jako vertikální protiproudá dvoutrubková se spodním rozvodem a nuceným oběhem vody. Veškerá technologie pro přípravu tepla je umístěna v 1. PP v technické místnosti. Horizontální rozvod v 1 PP je veden pod stropem kde přechází v jednotlivá stoupací potrubí. Otopná tělesa jsou umístěna na stěnách v prostorech pod okny v případě, kdy to konstrukční řešení dovolí. Otopná soustava dále musí být vybavena pojistným a zabezpečovacím zařízením. Pojistné zařízení zajišťuje, aby nedošlo k překročení nejvyššího dovoleného přetlaku v soustavě. Zabezpečovací zařízení je v soustavě osazeno z důvodu změny tlaku a objemu v závislosti na teplotní roztažnosti vody.

### 4.2 Teplotní spád soustavy

„Rozdíl výpočtové teploty otopné vody na vstupu do otopné soustavy a výpočtové teploty otopné vody na výstupu z otopné soustavy se nazývá teplotní spád otopné soustavy.“[4] Různé technologie přípravy tepla vedou k použití různých hodnot teplotního spádu v rámci porovnávaných variant. V této práci jsem uvažoval 3 druhy způsoby přípravy tepla a to centralizovaným zásobováním teplem, plynovou kotelnou a tepelným čerpadlem. Každý způsob přípravy tepla má stanoven svůj teplotní spád.

#### 4.2.1 Teplotní spád pro centralizované zásobováním teplem

Příprava tepla v původním provedení byla řešena jako centrální zásobování teplem. Teplo bylo připravováno centrálně v plynové kotelně pro celé sídliště. V takovémto provedení přípravy tepla pracovala otopná soustava s teplotním spádem 92,5/67,5°C.

#### 4.2.2 Teplotní spád pro plynovou kotelnu

Rekonstrukcí objektu byla výrazně snížena tepelná ztráta objektu. Otopná tělesa byla ponechána stejná jako před rekonstrukcí, velikost teplosměnné plochy je tedy zachována v souladu s původním stavem. Původní teplotní spád otopné soustavy před rekonstrukcí byl 92,5/67,5°C. Teplotní spád 92,5/67,5°C by přenesl až příliš velký tepelný výkon pro hrazení tepelných ztrát, z tohoto důvodu je nutné upravit teplotní spád pro nové hodnoty tepelné ztráty místností. Nový teplotní spád byl zvolen 60/40°C pro hrazení nižších teplotních ztrát se zachováním stejné teplosměnné plochy u otopných těles s ohledem na výkon zdroje tepla.

$$\frac{Q}{Q_n} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^n = \left(\frac{t_{wm} - t_D}{t_{wmn} - t_{Dn}}\right)^n \quad (1)$$

Q Výkon otopného tělesa [W]

Q<sub>n</sub> Výkon otopného tělesa za jmenovitých podmínek [W]

t<sub>wm</sub> Střední teplota vody [°C]

t<sub>D</sub> Teplota okolního vzduchu [°C]

t<sub>wmn</sub> Střední teplota vody za jmenovitých podmínek [°C]

t<sub>Dn</sub> Teplota okolního vzduchu za jmenovitých podmínek [°C]

n Teplotní exponent tělesa [–]

$$\Delta t = \frac{Q}{\dot{m} \cdot c} = \frac{486}{0,012 \cdot 4186} = 9,69^\circ\text{C} \quad (2)$$

$\dot{m}$  · Hmotnostní průtok tělesem [kg/s]

c · Měrná tepelná kapacita vody [J/kg · K]

Q Výkon otopného tělesa [W]

Δt Teplotní spád otopného tělesa [°C]

$$t_{wm} = t_D + (t_{wmn} - t_D) \cdot \sqrt[n]{\frac{Q}{Q_n}} = 20 + (80 - 20) \cdot \sqrt[1,33]{\frac{486}{1253}} = 48,9^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$\Delta t = t_{w1} - t_{w2} \quad (4)$$

t<sub>w1</sub> Vstupní voda do otopného tělesa [°C]

$t_{w2}$  Výstupní voda z otopného tělesa [°C]

$$t_{wm} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{2} \quad (5)$$

$$t_{wm} = \frac{t_{w1} + t_{w1} - \Delta t}{2} \quad (6)$$

$$t_{w1} = \frac{2t_{wm} - \Delta t}{2} = \frac{2 \cdot 48,9 - 9,69}{2} = 54^{\circ}\text{C} \quad (7)$$

$$t_{w2} = t_{w1} - \Delta t = 54 - 9,69 = 44^{\circ}\text{C} \quad (8)$$

Nový teplotní spád otopné soustavy je volen 60/40°C pro plynovou kotelnu s kondenzační technikou.

#### 4.2.3 Teplotní spád pro tepelné čerpadlo

Variantním zdrojem tepla bylo uvažováno tepelné čerpadlo typu vzduch/voda. Při vysoké teplotě výstupní otopné vody připravované tepelným čerpadlem klesá jeho topný faktor z toho vyplývá prodražení provozních nákladů. Ideálním řešením se jeví instalace nízkoteplotního vytápění, kde je nízká teplota výstupní otopné vody a dosahujeme tak vysokého topného faktoru tepelného čerpadla potřebujeme ale větší přestupní plochu otopné plochy. Teplotní spád otopné soustavy byl změněn na hodnotu 50/35°C. Na nový teplotní spád byla navržena nová otopná tělesa s větší přestupní plochou, než tomu bylo u původní instalace.



### 4.3 Rozvody otopné vody

Při návrhu je nutné zvážit druh použitého materiálu a jeho vhodnost pro danou instalaci. Rozvody otopné vody v domech jsou provedeny z měděného potrubí z důvodu, že měď dobře odolává stárnutí, difuzivitě, má vysokou pevnost. Kvůli vysoké pevnosti si můžeme dovolit malé tloušťky stěny, čímž je dosaženo výrazně nižší hmotnosti, než tomu je u potrubí vyrobených z oceli. Potrubí vyrobené z mědi se snáze spojuje i tvaruje oproti potrubí z oceli. Spojování potrubí se provádí nejběžněji kapilárním pájením, při připojování armatur nebo potrubí z odlišného materiálu se používá závitové spojení. Velikost použitého potrubí v projektu se liší podle hmotnostního průtoku v jednotlivých úsecích. Úsekem se rozumí část potrubí o stejném průřezu a hmotnostním průtoku otopné vody. Největší potrubí u domu s 12 NP je instalováno za zdrojem tepla 54x2 mm pro dům o 6 NP je rozměr potrubí za kotlem 42x1,5 mm, za rozdělovačem jsou dvě potrubí 35x1,5 mm a 35x1,5 mm. Veškeré ostatní rozvody potrubí jsou zhotoveny z potrubí 18x1 mm. Návrh stoupacího potrubí v domě o 6 NP viz P 4. Pro měděné potrubí se velikost udává jako vnější průměr trubky x tloušťka stěny. Veškeré rozvodné potrubí je opatřeno náplekovou izolací z důvodu zamezení tepelných ztrát a umožnění tepelné dilatace potrubí. Termoizolační trubice Mirelon Pro je instalována ve velikostech „54/20 mm, 42/20 mm, 32/20 mm, 18/20 mm.“ [5] Jednotlivá provedení termoizolační trubice jsou dodávána po dvoumetrových kusech.

### 4.4 Otopná tělesa

Otopné těleso je výměník instalovaný ve vytápěném prostoru, jehož úkolem je přivést v teplotně-látce do prostoru přes teplosměnnou plochu dostatečné množství tepla tak, aby byla zajištěna tepelná pohoda. Teplo na vnitřní straně tělesa je sdíleno přestupem tepla prouděním a vedením tepla stěnou tělesa. Sdílení tepla na povrchu tělesa je prouděním do okolního vzduchu a sáláním na okolní stěny. Projekt je řešen převážně konvekčním vytápěním. Převažuje-li konvekční složka výkonu, je teplota vzduchu vyšší než teplota okolních ploch. Otopná tělesa jsou umístěna přímo ve vytápěném prostoru oproti integrovaným otopným plochám jako například podlahové vytápění nebo stropní vytápění. [6]

## 4.4.1 Dimenzování otopných těles

V následujícím odstavci bude proveden princip výpočtu návrhu velikosti otopného tělesa při změně z jmenovitých podmínek na provozní. Přepočet výkonů za jmenovitých podmínek na přepočet výkonů za provozních podmínek závisí na teplotním podílovém součiniteli  $c$ .

$$c^* = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} = \frac{45 - 20}{55 - 20} = 0,71 > 0,7, \quad (9)$$

$c^*$  Teplotní rozdílový součinitel [–]

$t_{w1}$  Teplota vstupní vody [°C]

$t_{w2}$  Teplota výstupní vody [°C]

$t_i$  Vnitřní výpočtová teplota [°C]

pokud platí  $c^* > 0,7$

mohu použít vztah pro výpočet výkonu ve tvaru:

$$Q = Q_n \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^n = Q_n \cdot f_{\Delta t, n} \quad (10)$$

$Q$  Tepelná ztráta dané místnosti [W]

$Q_n$  Návrhový tepelný výkon tělesa [W]

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_D = \frac{55 - 45}{2} - 20 = 30^\circ\text{C} \quad (11)$$

$\Delta t$  Aritmetický rozdíl teplot při provozních podmínkách

$\Delta t_n$  Aritmetický rozdíl teplot při jmenovitých podmínkách

$$\Delta t_n = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_D = \frac{92,5 - 37,5}{2} - 20 = 60^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^n = \left(\frac{30}{60}\right)^{1,33} = 0,397 \quad (13)$$

$f_{\Delta t}$  Opravný součinitel na rozdíl teplot [–]

$n$  Teplotní exponent otopného tělesa 1,33 [–]

Výkon za nových teplotních podmínek

$$Q = Q_n \cdot f_{\Delta t} = 1254 \cdot \left(\frac{30}{60}\right)^{1,33} = 498 \text{ W} \quad (14)$$

#### 4.4.2 Původní otopná tělesa

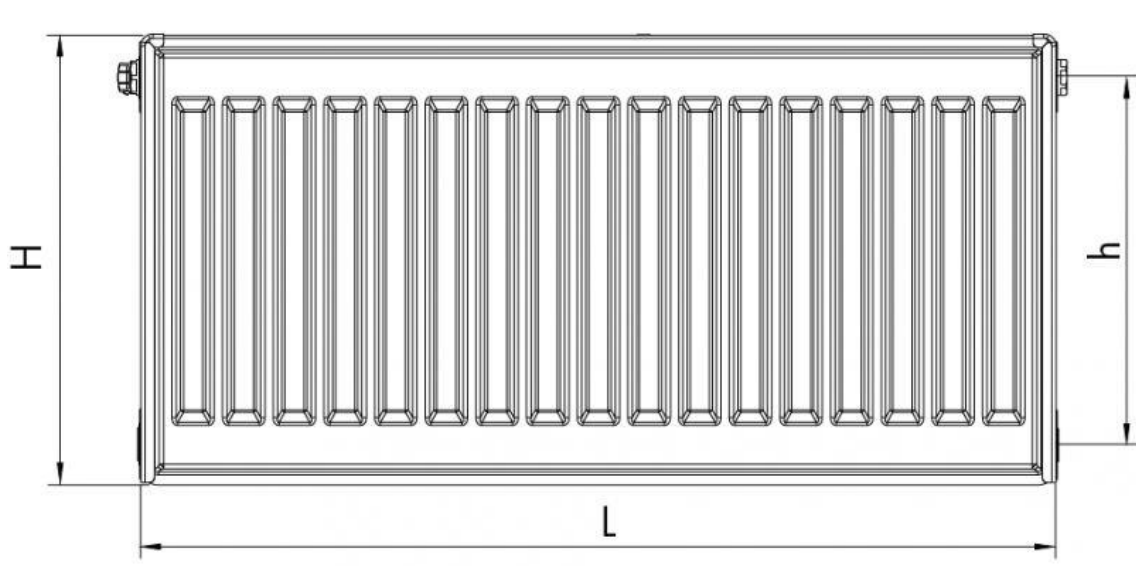
Otopnou plochu v jednotlivých místnostech tvoří litinová otopná tělesa typu Kalor 500/110 mm a v prvním podzemním podlaží jsou instalována otopná tělesa typu Kalor 900/160mm. Otopná tělesa jsou vyráběna z litiny s lupínkovým grafitem dle ISO 185. Hlavní výhodou těchto otopných těles je jejich dlouhá životnost a poměrná snadná variabilita výkonu počtu článků dle tepelné ztráty dané místnosti. Jednotlivé litinové články jsou spojovány vsuvkami. Otopná tělesa jsou umístována pod okny. Tělesa jsou opatřena regulačním ventilem V 4262 s termostatickou hlavicí. V suterénu jsou použity ventily s ručním ovládním V 4252. Každé těleso je opatřeno na zpětným potrubím regulačním šroubením pro hydraulické vyvážení otopné soustavy. Pro napojení otopného tělesa připojovacím potrubím do horní rozvodné komory a zpětným potrubím do dolní sběrné komory slouží růžice. Horní rozvodná komora otopného tělesa je na druhé straně oproti růžici opatřena zátkou nebo v nejvyšším podlaží odvzdušňovacím ventilem. Dolní sběrná komora je na opačném konci oproti růžici osazena vždy zátkou. Výše uvedena otopná tělesa jsou zachována z původní instalace i pro zdroj tepla v podobě plynové kotelny. Došlo pouze ke změně teplotního spádu v soustavě.

#### 4.4.3 Otopná tělesa pro tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo pracuje s teplotním spádem otopné soustavy 50/35°C s ohledem na topný faktor. S rostoucí teplotou výstupní otopné vody klesá topný faktor a tím se prodražují provozní náklady tepelného čerpadla. Novým teplotním spádem otopné soustavy výrazně klesá výkon instalovaných otopných těles, který je nevyhovující pro hrazení tepelné ztráty místnosti při teplotním spádu 50/35°C. Stávající otopná tělesa budou nahrazena novými otopnými tělesy určenými pro rekonstrukce. Konstrukce nových deskových otopných těles je přizpůsobená k výměně za litinová otopná tělesa. Tělesa byla navržena od firmy Korado typ Radik Klasik-R s bočním připojením.

### Konstrukce otopných těles pro tepelné čerpadlo

Otopná tělesa Radik Klasik R jsou upravena pro rychlou náhradu článkových litinových otopných těles instalovaných v objektu. Jednotná výška otopného tělesa  $H=554$  mm zajišťuje bezproblémovou montáž za rušené litinové otopné těleso s přípojovací roztečí  $h=500$  mm. Přípojovací závit přívodního a vratného potrubí je G1/2 vnitřní. Možné levé nebo pravé boční připojení. [7]



Obr. 1 Otopné těleso Radik Klasik-R

## 4.4.4 Návrh otopných těles

Otopná tělesa jsou navržena na tepelnou ztrátu podle tepelné ztráty příslušné místnosti. V tab. 3 jsou uvedeny ceny za instalovaná otopná tělesa. Cena nově instalovaných těles bude odečtena od ceny těles navržených na původní tepelnou ztrátu. Rozdíl těchto cen bude zahrnut do investičních nákladů pro variantu přípravy tepla tepelným čerpadlem. Není známa cena otopných litinových těles při výstavbě z tohoto důvodu byla navržena otopná tělesa Radik Klasik –R na původní nezateplený stav budov pro stanovení cenového rozdílu. [7]

Tab. 3 Přehled navržených otopných těles Radik Klasik R v bytě B1 1. NP

Místnost	Č. Místnost	před rekonstrukcí 92,5/67,5		Po rekonstrukci 50/35	
		Otopné těleso	cena(kč)	Otopné těleso	cena(kč)
Pokoj	101	21R554/900	1699	21R/554/1400	2239
Kuchyň	102	20R/554/900	1436	21R/554/800	1592
Obývací pokoj	103	21R554/1000	1808	21R/554/1200	2024
Koupelna	104	20R/554/400	945	21R/554/900	1699
Chodba	105	20R554/700	1238	22R/554/1400	2228
Pokoj	106	21R554/900	1699	22R/554/1400	2228
			Σ 8825	Σ 3185	Σ 12010
			Rozdíl cen	3185	kč

## 5. Hydraulické výpočty

Nutností pro správnou funkci otopné soustavy je vhodný návrh dimenze rozvodů otopné vody a výpočet tlakových ztrát s následným hydraulickým vyvážením otopné soustavy.

### 5.1 Návrh dimenze potrubí v otopné soustavě

Vhodná dimenze přívodního a vratného potrubí k tělesu musí zajistit dostatečné množství a kvalitu otopné vody k tělesu. Metoda pro návrh vhodné dimenze potrubí byla stanovena formou volby ekonomické rychlosti. Rychlost v hlavních úsecích rozvodu byla volena  $w=0,6\text{m/s}$ . Množství otopné vody k tělesu je stanoveno:

$$\dot{m} = \frac{Q}{c \cdot \Delta t} \quad (15)$$

$\dot{m}$  Hmotnostní průtok otopné vody [kg/s]

$\Delta t$  Teplotní spád (20 °C) [°C]

$c$  Měrná tepelná kapacita vody ( 4186 J/kg. K) [J/kg. K]

Ze vztahu (9) dostaneme potřebné množství otopné kapaliny, v našem případě vody, pro dané těleso. Výslednou hodnotu použijeme do vztahu (10), který upravíme na výraz (11).

$$\dot{m} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot w_{ek} \cdot \rho_{vo} \quad (16)$$

$w_{ek}$  Ekonomická střední rychlost v potrubí (0,6 m/s) [m/s]

$\rho_{vo}$  Hustota vody [kg/m<sup>3</sup>]

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho \cdot w_{ek}}} \quad (17)$$

$d$  Průměr potrubí [m]

Volbou průměru potrubí dle výrobní řady je nutné přepočítat skutečnou rychlost proudění v potrubí daného průřezu.

Vztah pro skutečnou rychlost v potrubí:

$$w_{sk} = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho_{vo} \cdot d^2} \quad (18)$$

$w_{sk}$	Skutečná střední rychlost v potrubí	[m/s]
$\dot{m}$	Hmotnostní průtok otopné vody	[kg/s]
$\rho_{vo}$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]

## 5.2 Tlakové ztráty

Prouděním teplotonosné látky potrubím k tělesům vzniká v potrubí tlaková ztráta vlivem disipace mechanické energie v teplo. Celková tlaková ztráta je součet tlakové ztráty třením  $\Delta p_t$  a tlakové ztráty místními odpory  $\Delta p_m$ . Hrazení tlakové ztráty třením probíhá pomocí dispozičních tlaků u přirozeného oběhu vlivem rozdílů teplot. V soustavě s nuceným oběhem hradí tlakovou ztrátu dopravní tlak čerpadla. Projekt je řešen jako soustava s nuceným oběhem vody, v současné době nejrozšířenější řešení způsobu dopravy otopné vody v soustavě.

### 5.2.1 Tlakové ztráty třením

Tlakové ztráty třením vznikají třením tekutiny o vnitřní povrch potrubí. Rozhodující vliv na velikost tlakové ztráty třením má režim proudění: a to turbulentní, laminární nebo přechodový. Pro posouzení, o jaký vliv proudění se jedná, slouží Reynoldsovo číslo. [8]

Vztah pro výpočet tlakových ztrát třením:

$$\Delta p_t = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (19)$$

$\Delta p_t$	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$\lambda$	Součinitel tření	[–]
$w$	Střední rychlost proudění v potrubí	[m/s]
$d$	Vnitřní průměr potrubí	[m]
$l$	Délka potrubí	[m]
$\rho_{vo}$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]

Z důvodu vhodné volby výpočtu součinitele tření je nutné nejprve určit, o jaký druh proudění se jedná, zda o laminární nebo turbulentní pomocí Reynoldsova čísla. Dle

tohoto poznatku určíme vhodnost použití jednoho ze dvou vztahů pro výpočet součinitele tření.

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (20)$$

Re	Reynoldsovo číslo	[–]
w	Střední rychlost	[m/s]
d	Vnitřní průměr potrubí	[m]
$\nu$	Kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> /s]

Hodnota kinematické viskozity pro vodu  $\nu = 6,039 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Laminární oblast proudění je pro  $Re < 2300$ . V této oblasti použijeme vztah pro výpočet součinitele tření  $\lambda$  ve tvaru:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (21)$$

Přechodová oblast proudění je  $2300 < Re < 3500$ . V této oblasti použijeme vztah pro výpočet součinitele tření  $\lambda$  ve tvaru:

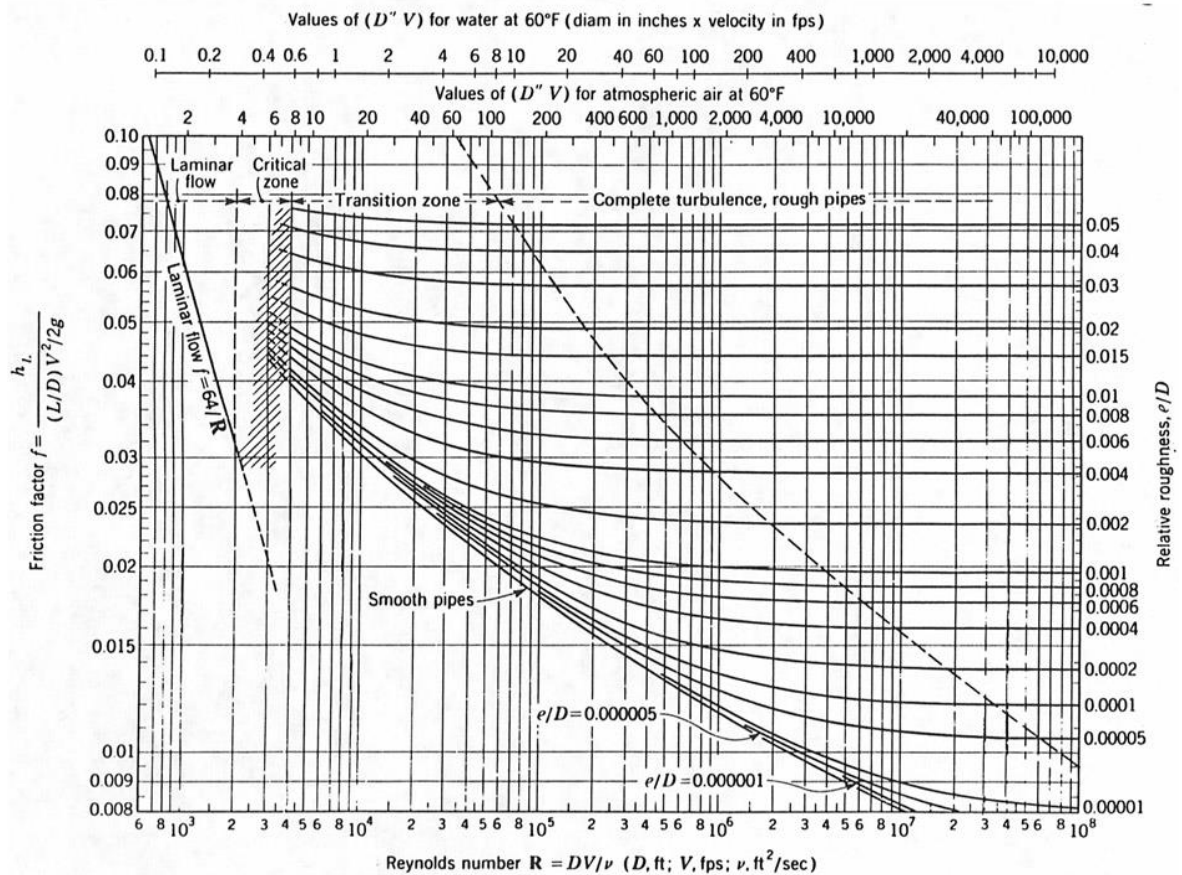
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{k}{d}}{3,71} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right] \quad (22)$$

Turbulentní oblast proudění je  $3500 < Re$ . V této oblasti použijeme vztah pro výpočet součinitele tření  $\lambda$  ve tvaru:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 11,38 - 2 \log \left[ \frac{k}{d} \right] \quad (23)$$

k	Absolutní drsnost potrubí	[mm]
---	---------------------------	------





Obr. 2 Moodyho diagram třecích ztrát v potrubí [9]

Z důvodu pracnosti výpočtu byla při řešení tlakové ztráty potrubím použita metoda výpočtu tlakové ztráty dle tlakového spádu  $R$  (Pa/m). Každý úsek potrubí měl přiřazen tlakový spád  $R$  dle objemového průtoku úsekem a příslušné dimenze. Tlaková ztráta třením byla vypočtena dle vztahu (22). Drsnost potrubí je  $k=0,01\text{mm}$ . [8]

$$\Delta p_t = R \cdot L \quad (24)$$

$R$  Tlakový spád [Pa/m]

$L$  Délka úseku [m]

### 5.2.2 Tlakové ztráty místními odpory

Tlakové ztráty místními odpory jsou tlakové ztráty vznikající vířením tekutiny v místech změny směru nebo průřezu potrubí. Tlakové ztráty tohoto druhu způsobují kolena, odbočky, oblouky, armatury (ventily, šoupátka, zpětné klapky).

$$\Delta p_m = \sum_{i=1}^n \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (25)$$

$\Delta p_m$	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\zeta_i$	Příslušný součinitel místního odporu	[–]
$w$	Střední rychlost	[m/s]
$n_o$	Počet místních odporů v úseku	[–]
$\rho$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]

Součinitel místního odporu  $\zeta_i$  se určuje pouze experimentálním měřením. Hodnoty součinitele místních odporů byly voleny z tabulek udávaných v publikaci „Výpočtové tabulky pro vytápění“. [10]

Tlaková ztráta otopných těles byla stanovena výrobcem, který udává součinitel odporu tělesa  $\zeta_i = 8,5$  při použití přípojovacího potrubí DN15.

### 5.2.3 Celková tlaková ztráta

Celková tlakové ztráta úseku je dána součtem tlakové ztráty třením a místními odpory.

$$\Delta p_c = \Delta p_t + \Delta p_m = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho + \sum_{i=1}^n \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (26)$$

## 5.3 Vyvážení otopné soustavy

Pro dosažení požadovaného výkonu jednotlivých otopných těles je zapotřebí v otopné soustavě provést hydraulické vyvážení. U jednotlivých větví otopné soustavy vznikají vlivem rozdílných průtoků, dimenzí potrubí a různou délkou větví rozdíly v tlakových ztrátách. Následek nevyvážené nebo chybně vyvážené otopné soustavy je takový, že těleso s nejmenší tlakovou ztrátou v soustavě je přehříváno a těleso s největší tlakovou ztrátou nemá požadovaný výkon. Vyvážení otopné soustavy bude provedeno na patě veškerých stoupacích potrubí vyvažovacím ventilem STAD a na otopných tělesech

regulačním šroubením. Vyvážení otopné soustavy bylo provedeno metodou přednastavení.

### 5.3.1 Vyvážení jednotlivých stoupacích potrubí

Vyvážení každého stoupacího potrubí bude provedeno v 1. PP instalaci vyvažovacího ventilu STAD od společnosti IMI Hydronic Engineering. Vyvážení otopné soustavy je nastavení trvalé tlakové ztráty na ventilu tak, aby tlaková ztráta daného okruhu byla přibližně stejná (odchylka do 15%) s referenčním okruhem. Nastavení tlakové ztráty je předepsáno počtem otáček z polohy plně uzavřeno. Čtyřmi otáčkami je dána poloha plně otevřeno, nejmenší změna nastavení je půl otáčky. Vyvážení jednotlivých stoupacích potrubí bude provedeno ve dvou větvích, a to východní a západní větvi. Ve východní větvi bude referenčním okruhem okruh se stoupacím potrubím č. 10 o celkové tlakové ztrátě  $\Delta p_c = 21,4 \text{ kPa}$ . Na tento okruh bude navrženo oběhové čerpadlo a také na tento okruh budou doškrceny ostatní stoupací potrubí nacházející se ve východní větvi otopné soustavy. V západní větvi otopné soustavy budou ostatní okruhy doškrceny na referenční okruh se stoupacím potrubím č. 7 s celkovou tlakovou ztrátou  $\Delta p_c = 9,1 \text{ kPa}$ .

### Návrh vyvažovacího ventilu STAD

Za předpokladu znalosti tlakové ztráty ventilu a průtoku otopné vody ventilem určíme hodnotu průtokového součinitele  $K_v$ . Pomocí  $K_v$  hodnoty volíme příslušné přednastavení ventilu dle tabulky udávanou výrobcem.

Vypočet  $K_v$  hodnoty :

$$K_v = 0,01 \frac{q}{\sqrt{\Delta p}} \quad (27)$$

$q$  průtok armaturou [l/h]

$\Delta p$  tlaková ztráta armatury [kPa]

Přehled vyvážení pro 6.NP dům.

Tab. 4. Nastavení vyvažovacích ventilu STAD východní větev

Východní větev				
stoupací potrubí	tlaková ztráta	Doškrtit	Kv	Nastavení
-	Pa	Pa	-	otáčky
1	10712	5990	0,70	2,5
2	11775	4927	0,96	2,5
3	11098	5604	0,77	2,5
4	8343	8359	0,53	2
10	16702	0	2,52	4
11	7375	9327	0,40	2
12	4839	11863	0,36	2

Tab. 5. Nastavení vyvažovacích ventilu STAD západní větev

Západní větev				
stoupací potrubí	tlaková ztráta	Doškrtit	Kv	Nastavení
-	Pa	Pa	-	otáčky
5	4717	3784	0,35	1,5
6	5524	2977	0,80	2,5
7	8501	0	5,70	4
8	3281	5220	0,60	2
9	1945	6556	0,25	1
13	2771	5730	0,51	2
14	4030	4471	0,58	2

Přehled vyvážení pro dům o 12 NP .

Tab. 6 Nastavení vyvažovacích ventilu STAD východní větev

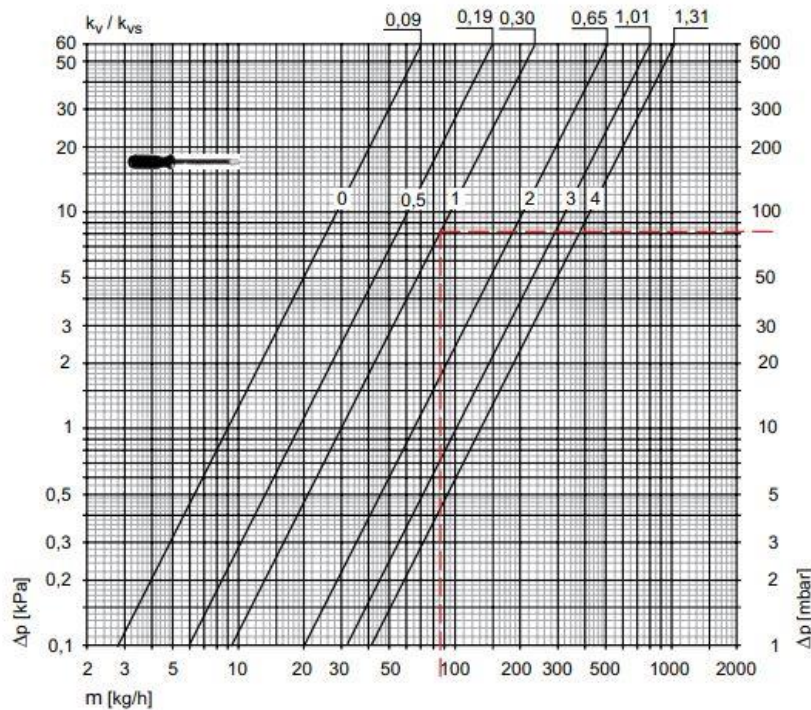
Východní větev				
stoupací potrubí	tlaková ztráta	Doškrtit	Kv	Nastavení
-	Pa	Pa	-	otáčky
1	10026	8003	0,87	2,5
2	13372	4657	1,51	3
3	11628	6401	0,72	2,5
4	18029	0	2,52	4
10	15883	2146	2,02	3
11	6635	11394	0,46	2
12	6635	11394	0,46	2

Tab. 7 Nastavení vyvažovacích ventilu STAD západní větev

Západní větev				
stoupací potrubí	tlaková ztráta	Doškrtit	Kv	Nastavení
-	Pa	Pa	-	otáčky
5	8265	5108	0,44	1,5
6	8640	4732	0,96	2,5
7	13372	0	2,52	4
8	10237	3136	1,13	3
9	6047	7326	0,35	2
13	6635	6738	0,59	2
14	6635	6738	0,59	2

### 5.3.2 Vyvážení na otopných tělesech

Každé otopné těleso je opatřeno regulačním šroubením na zpátečním potrubí a regulačním ventilem s termostatickou hlavíci na přívodním potrubí. Hydraulické vyvážení bude provedeno na regulačním šroubení přednastavením trvalé tlakové ztráty. V projektu jsou užitá regulační šroubení IMI Heimeier Regulux



Obr. 3 Diagram stupně přednastavení regulačního šroubení

## 5.4 Trojcestná směšovací armatura

Trojcestná směšovací armatura je umístěna hned za rozdělovačem jak na východní, tak na západní větvi z důvodu kvalitativní regulace. Trojcestná směšovací armatura směšuje teplou vodu se studenou vodou ze zpětného potrubí. Poměrem směšování upravuje teplotu přívodní vody do otopné soustavy na základě ekvitermní regulace. Poloha armatury je řízena servopohonem.

### 5.4.1 Návrh trojcestné směšovací armatury

Na západní větvi je instalována trojcestná armatura Regulus LK 840 2.0 s  $K_v = 15$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]. DN 32 s tlakovou ztrátou 2433 Pa. Východní větev je osazena trojcestnou armaturou Regulus LK 840 2.0  $K_v = 15$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] DN 32. Tlaková ztráta armatury je 3873 Pa.

$$\Delta p_{VS} = P_V \cdot \frac{\Delta p_{var}}{1 - P_V} \quad (28)$$

$P_V$  autorita ventilu pro trojcestné směšovací ventily volíme 0,7

$\Delta p_{var}$  tlaková ztráta tlaková ztráta zařízení s proměnným průtokem [Pa]

$\Delta p_{vs}$  tlaková ztráta plně otevřeného ventilu [Pa]

$$K_{vs} = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{100}}{\Delta p_{vs}}} \quad (29)$$

$\dot{V}$  objemový průtok armaturou [m<sup>3</sup>/h]

$\Delta p_{100}$  tlaková ztráta 100kPa [kPa]

$\Delta p_{vs}$  tlaková ztráta armatury [kPa]

## 5.5 Oběhová čerpadla

V soustavě s nuceným oběhem hradí oběhová čerpadla tlakové ztráty v potrubí. Čerpadla jsou navržena na okruh s největší tlakovou ztrátou a průtokem otopné vody v soustavě. Soustava je rozdělena na dvě větve: západní a východní. V každé větvi je instalováno jedno oběhové čerpadlo. Zdroj tepla není osazen oběhovým čerpadlem od výroby, proto je nutné objednat čerpadlovou skupinu.

Při reálném provozu je otopná soustava zatížena jen zčásti v závislosti na venkovních klimatických podmínkách. Soustava pracuje na plný výkon pouze pár dní v roce, z tohoto důvodu je nutná regulace výkonu oběhového čerpadla. V projektu byla užitá regulace čerpadel na konstantní dopravní tlak  $\Delta p-c$ . Při použití termostatických regulačních ventilů se pracovní bod posouvá po charakteristice čerpadla. Elektronicky řízené čerpadlo udržuje konstantní tlakovou diferencí  $\Delta p-c$ .

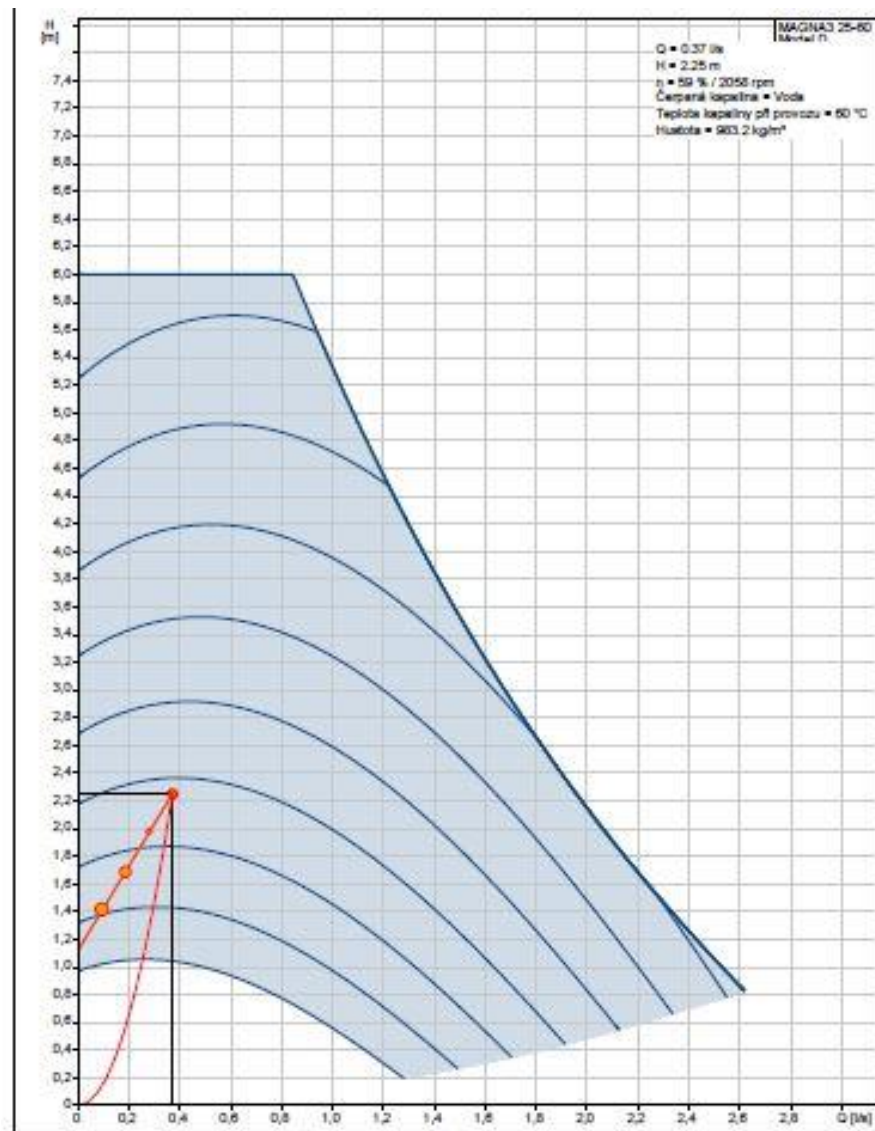
### 5.5.1 Oběhová čerpadla pro dům o 6 NP.

#### Zdroj tepla-Termohydraulický rozdělovač

Oběhové čerpadlo je umístěno ve zdroji tepla, jedná se o UPM 15-70 Hradí tlakovou ztrátu od zdroje tepla k Termohydraulickému rozdělovači. Objemový průtok na tomto úseku činí 0,58/s s tlakovou ztrátou 1,7kPa.

#### Oběhové čerpadlo pro východní větev

Průtok oběhovým čerpadlem činí 0,82l/s s tlakovou ztrátou okruhu 25,9kPa. Pro tento okruh je navrženo oběhové čerpadlo Grundfos Magna 3 25-60.

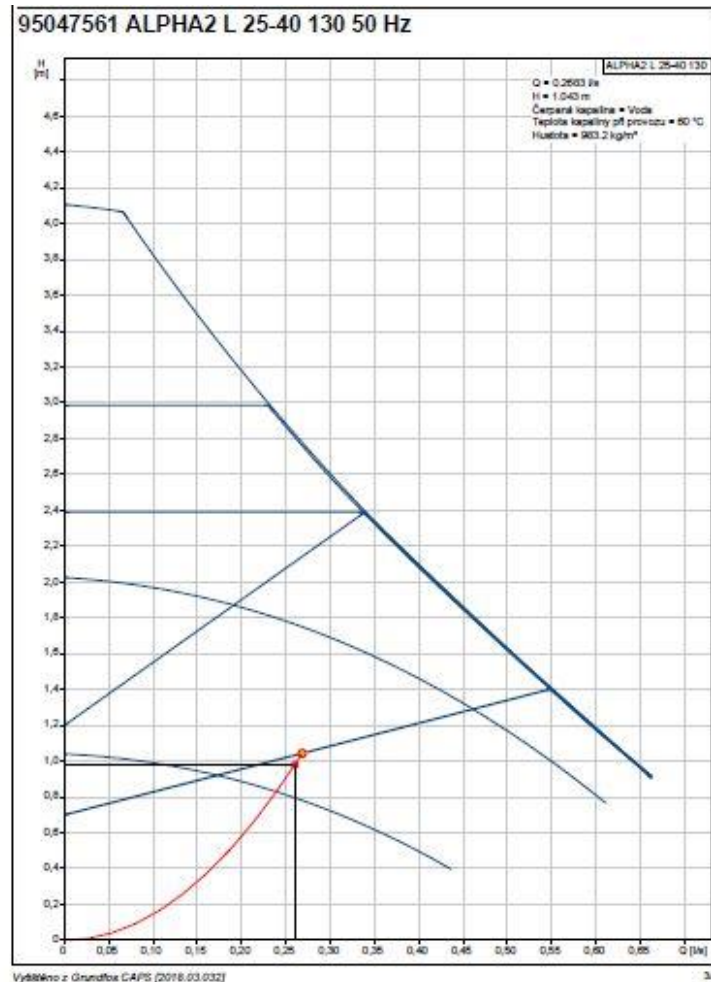


Obr. 4 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Magna 3 25-60



### Oběhové čerpadlo pro západní větev

Průtok oběhovým čerpadlem činí 0,24 l/s s tlakovou ztrátou okruhu 9,1 kPa. Pro tento okruh je navrženo oběhové čerpadlo Grundfos Alpha2 L 25-40 130.



Obr. 5 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Alpha2 L 25-40

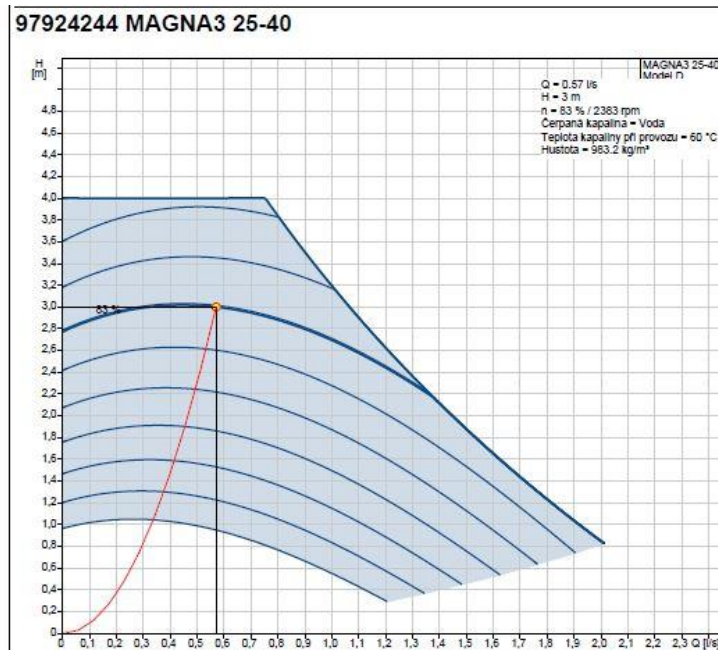
#### 5.5.2 Oběhová čerpadla pro dům o 12 NP

##### Zdroj tepla-Termo hydraulický rozdělovač

Návrh oběhových čerpadel proběhl obdobně jako pro budovu o 6 NP. Ve zdroji tepla je osazeno oběhové čerpadlo typu UPM 25-65. Objemový průtok čerpadlem je 0,94 l/s a oběhové čerpadlo hradí tlakovou ztrátu 1,27 kPa.

### Oběhové čerpadlo pro východní větev

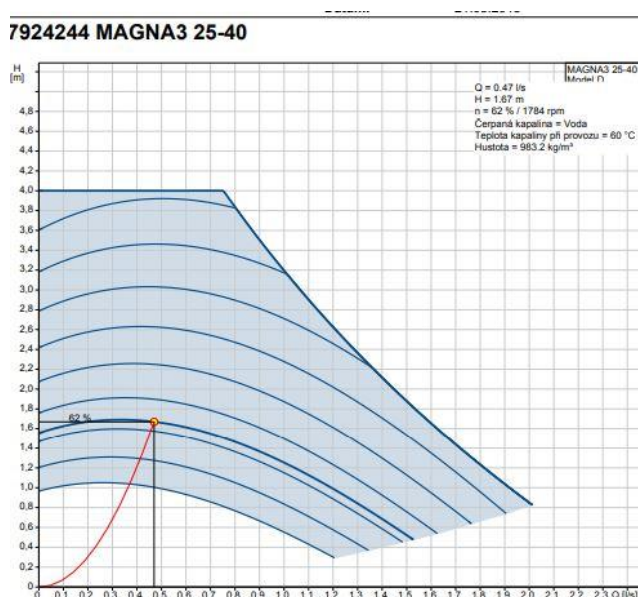
Okruh s největší tlakovou ztrátou ve východní větvi je okruh s objemovým průtokem 0,57 l/s a tlakovou ztrátou 30,4 kPa. Čerpadlo navržené na tyto parametry je Grundfos Magna 3 25-40.



Obr. 6 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Magna 3 25-40

### Oběhové čerpadlo pro západní větev

Průtok oběhovým čerpadlem činí 0,41 l/s s tlakovou ztrátou okruhu 16,8 kPa. Pro tento okruh je navrženo oběhové čerpadlo Grundfos Magna 3 25-40.

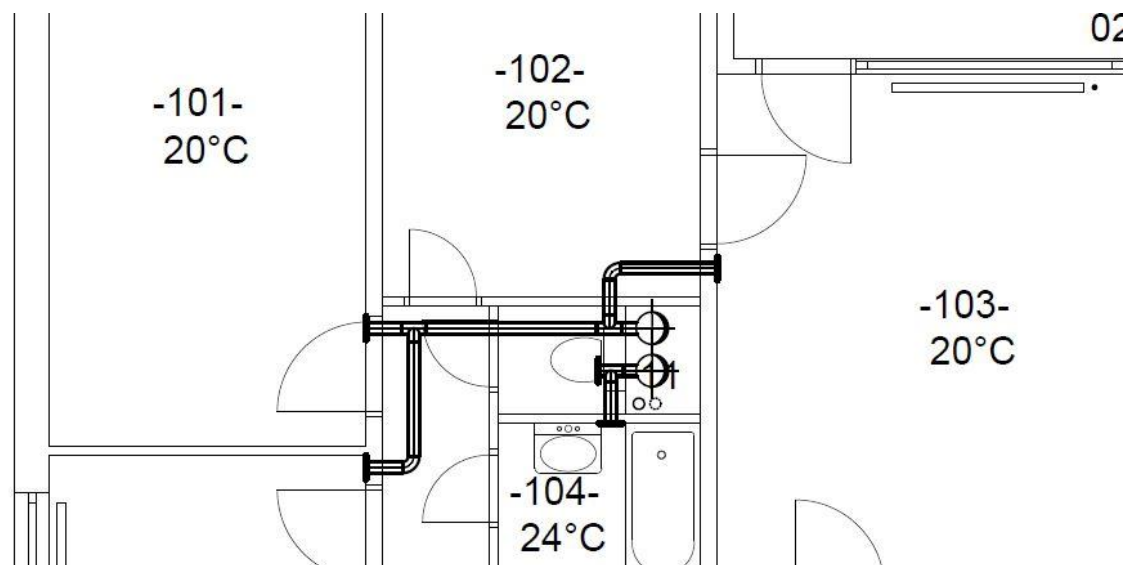


Obr. 7 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Magna 3 25-40

## 6. Větrání

Před rekonstrukcí nebyla centrální výměna vzduchu v objektu instalována. Výměna vzduchu v místnosti byla zajištěna infiltrací a otevíráním oken pro krátkodobé, ale intenzivní provětrání místnosti. Nucená výměna vzduchu v obytných místnostech je řešena rovnotlakým větráním. Větrací jednotka Atrea Duplex Flexi2 2600Flexi je instalována jako centrální pro 6.NP bytový dům s celkovým objemovým průtokem vzduchu 2675 m<sup>3</sup>/h. Budova o 12. NP je vybavena vzduchotechnickou jednotkou Atrea Duplex Flexi 2 typ 3600Flexi s celkovým objemovým průtokem 5435 m<sup>3</sup>/h. V objektech s těmito jednotkami je dosaženo 85% účinnosti rekuperace tepla. Tepelná ztráta větráním je hrazena otopnou soustavou.

Čerstvý vzduch je přiváděn do bytových místností jako je obývací pokoj a ložnice. Odvod vzduchu je řešen přes WC a koupelnu. Větrání je řešeno pouze formou studie s dispozičním uspořádáním v bytě. Vzduchotechnické potrubí je kruhového průřezu typu Spiro z pozinkovaného plechu.



Obr. 8. Studie VZT v 1.NP pro byt B1

## 7. Příprava teplé vody

V současné době je teplá voda naprostou samozřejmostí ve vybavenosti obydlí. Příprava teplé vody v minulosti nebyla samozřejmostí, a i v dnešní době existují objekty bez přípravy teplé vody. Teplá voda není určena ke konzumaci ani k vaření, i když je zdravotně nezávadná. Způsob užití teplé vody je k osobní hygieně, umývání a praní. Způsob přípravy teplé vody je lokální, centrální, ústřední. Lokální ohřev teplé vody je řešen tak, že každé odběrné místo má svůj zdroj tepla. Centrální ohřev je koncipován tak, že jeden zdroj tepla zásobuje několik odběrných míst. Ústřední ohřev teplé vody je konstruován tak, že pro veškerá odběrná místa je teplá voda připravována v jednom zařízení. Ústřední ohřev je řešen v tomto projektu. Ohřev teplé vody je nepřímý přes teplosměnnou plochu výměníku. Před rekonstrukcí byla řešena příprava teplé vody v rámci centrálního zásobování teplem. Rekonstrukcí byla instalována zařízení pro přípravu teplé vody v technické místnosti každé budovy. Příprava teplé vody byla navrženo dvěma technickými variantami, a to buď zásobníkem s výměníkem tepla nebo výměňkové sady. Příprava teplé vody probíhá 365 dní v roce v pravidelně opakujících se cyklech. [11]

### 7.1 Příprava teplé vody pro dům o 6 NP

Pro návrh přípravy teplé vody je možné užití několika způsobů jak dle normy ČSN EN 15316-3-1, tak dle DIN 4708. Teplota studené vody je 10°C a je ohřívána na teplotu 60°C při výstupu ze zásobníku.

#### 7.1.1 Potřeba teplé vody dle ČSN EN 15316-3-1

Specifická denní spotřeba teplé vody dle ČSN EN 15316-3-1 pro bytový dům byla stanovena na 40 l/osobu · den. Pro bytový dům je uvažováno s 24 bytovými jednotkami obývanými 96 lidmi.

Denní potřeba teplé vody pro bytový dům 6. NP.

$$V_p = \frac{V_w \cdot n}{1000} \quad (30)$$

$V_w$       specifická potřeba teplé vody na osobu      [l/osobu · den]

$n$           počet obyvatel v domě      [–]

$V_p$	potřeba teplé vody na den	[m <sup>3</sup> /den]
Potřeba tepla na přípravu teplé vody		
$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = \frac{V_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \cdot (1+z)}{3600 \cdot 1000}$		(31)
$Q_t$	teplo pro ohřev vody	[kWh/den]
$Q_z$	teplo ztracené při ohřevu a distribuci	[kWh/den]
$Q_p$	teplo dodané ohřivačem teplé vody	[kWh/den]
$\rho$	hustota vody při střední střední teplotě zásobníku	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg · K]
$t_2$	teplota teplé vody	[°C]
$t_1$	teplota studené vody	[°C]
$z$	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci teplé vody	[–]

Ztrátou v rozvodech teplé vody a cirkulačním potrubí byla stanovena poměrná ztráta tepla při ohřevu teplé vody na 20%. Přívod tepla musí být navýšen o 20%, aby byla pokryta tepelná ztráta zásobníku a rozvodů teplé vody. Potřeba tepla na přípravu teplé vody pro 6. NP bytový dům je  $Q_{2p} = 218$  kWh/den.

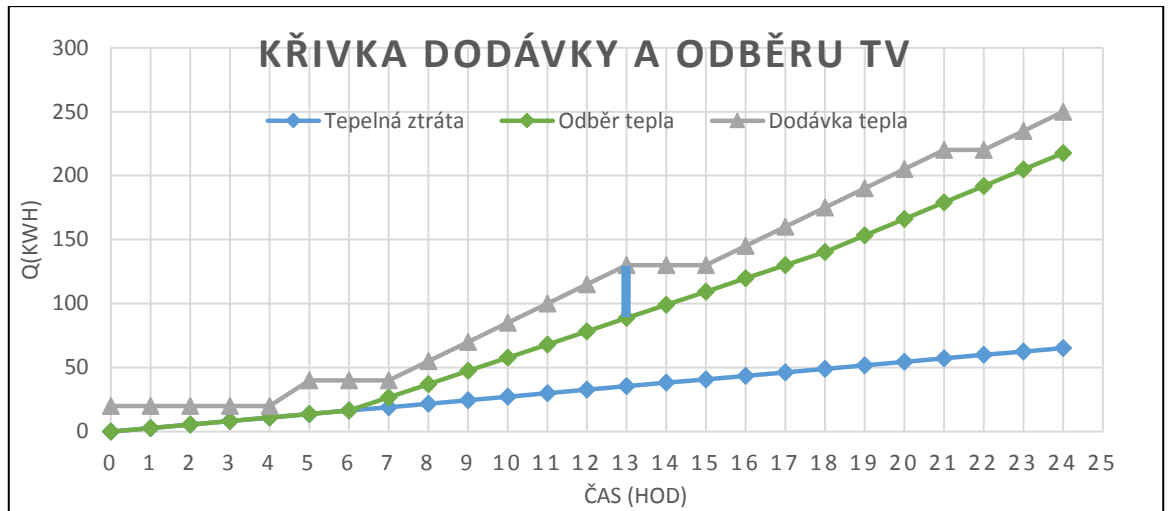
### Návrh zásobníku na teplou vodu

Profil odběru teplé vody pro bytový dům byl stanoven z aproximativní křivky dodávky teplé vody pro bytový dům. Aproximativní křivka pro bytový dům předpokládá následující odběry teplé vody. [10]

Tab. 8. Odběr teplé vody podle aproximativní křivky pro bytový dom

denní doba	doba trvání odběru	odběr
(hod)	(hod)	(%)
0-6	6	0
6-18	12	60
18-23	5	40

Na základě tabulky odběru teplé vody pro bytový dům podle aproximativní křivky byla sestavena křivka dodávky a odběru teplé vody pro 6. NP bytový dům.



Obr. 9. Křivka dodávky a odběru teplé vody pro dům o 6 NP

Největší rozdíl mezi křivkami odběru tepla a dodávky tepla slouží pro výpočet velikosti zásobníku teplé vody. Největší rozdíl mezi křivkami dodávky a odběru tepla nastává v 13 hod a činí  $\Delta Q_{\max} = 42,3 \text{ kWh}$ . Hodnoty pro vnesení grafu dodávky a odběru tepla pro 6 NP viz příloha P5.

Výpočet velikosti zásobníku teplé vody

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max}}{c^* \cdot (t_2 - t_1)} \quad (32)$$

$V_z$  objem zásobníku teplé vody  $[\text{m}^3]$

$\Delta Q_{\max}$  rozdíl mezi dodávkou a potřebou tepla  $[\text{kWh}]$

$c^* = \frac{c}{3600 \cdot 1000} \cdot \rho$  upravená tepelná kapacita  $[\text{kWh}/\text{m}^3 \cdot \text{K}]$

Vztahem (32) byl stanoven objem zásobníku na teplou vodu  $V_z = 710 \text{ l}$ . Zásobník byl navržen od firmy Dražice typ OK 750 NTRP/BP s nepřímo topeným zásobníkem o výkonu 99kW s teplosměnnou plochou výměníku  $3,7 \text{ m}^2$ .

Jako zdroj tepla pro nabíjení zásobníku byl navržen kondenzační nástěnný kotel Buderus GB172-24 o výkonu 24 kW. Nejvyšší výkon, kterým je zásobník nabíjen během jednoho cyklu, je 20 kW. Účinnost zdroje tepla ve vysokoteplotním režimu přípravy teplé vody je 89%.

## 7.1.2 Návrh akumulčního zásobníku dle DIN 4708

Způsob návrhu dle DIN 4708 není u nás příliš známou metodou návrhu. „Výchozím parametrem pro návrh je definice tzv. "jednotkového bytu", ve kterém je uvažován koeficient potřeby  $N = 1$ “ [10]. Jednotkový byt je stanoven čtyřmi místnostmi, ve kterých žijí 3 až 4 osoby. Potřeba tepla na přípravu teplé vody je definována pro jednotkový byt jako  $Q_N=20,37$  kWh. Do počtu místností se nezapočítávají kuchyně, koupelny, komory a předsíně. Podle počtu místností se stanovuje koeficient obsazenosti  $p$ . Malé byty s jednou nebo dvěma místnostmi mají koeficient obsazenosti  $p=2,5$ . Potřeba tepla je dána součtem všech odběrných míst v bytě. Odběrná zařízení osazené v bytě jsou umyvadlo, dřez a sprcha.

Tab. 9 Potřeba tepla různých odběrných míst

umyvadlo	0,7	kWh
dřez	3,66	kWh
sprcha	1,16	kWh

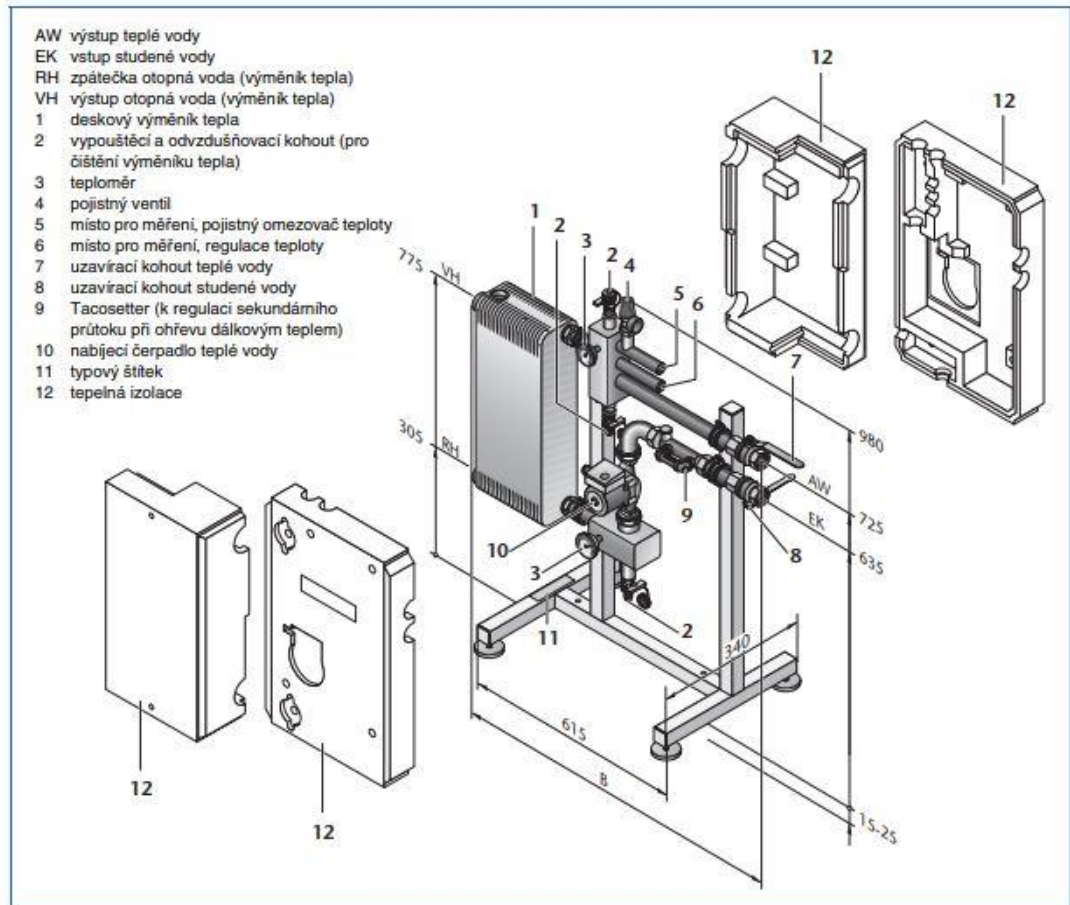
Výpočet koeficientu potřeby  $N$

$$N = \frac{\sum(n \cdot p \cdot \sum w_V)}{Q_N} \quad (33)$$

$N$	koeficient potřeby	[–]
$n$	počet bytů	[–]
$p$	koeficient obsazenosti nebo počet osob	[–]
$w_V$	potřeba tepla odběrných míst	[kWh]
$Q_N$	jednotkový byt	[kWh]

Hodnoty dosazované do výpočtu (33) jsou počet bytů, kterých je v domě o 6 NP 24, součet potřeb tepla různých odběrných míst činí  $\sum w_V=5,55$  kWh. Koeficient obsazenosti bytu byl stanoven dle DIN 4708 na hodnotu  $p=3,5$ . Výkonové číslo zásobníku podle vztahu (33) je  $N=22,8$ . Výkonové číslo navrhované výměňkové sady musí být stejné nebo vyšší než je vypočtené výkonové číslo. Podle výkonového čísla byla navržena výměňková sada Logalux LSP 3 se zásobníkem vody Logalux SF500. Výkonové číslo navrhované sady je  $N=25,4$  s trvalým výkonem 67 kW při teplotním spádu 70/50°C. Jedná se o stojící akumulční nádobu o objemu 500 l s vedle stojícím výměňkem tepla o výkonu 67 kW. Výměňková sada je z výroby opatřena nabíjecím čerpadlem Grundfos UPS 25-60 B na straně teplé vody.

Zdroj tepla je navržen na trvalý výkon výměníku udávaným výrobcem. Pouze pro přípravu teplé vody byla navržena kaskáda dvou nástěnných plynových kondenzačních kotlů Buderus Logamax plus GB 192-35i s jmenovitým tepelným výkonem 33,7 kW v součtu s výkonem 67,5 kW. Účinnost zdroje tepla při jmenovitem tepelném výkonu ve vysokoteplotním režimu je 87,7%.



Obr. 10 Schéma výměníkové sady Logalux LSP



## 7.2 Příprava teplé vody pro 12. NP dům

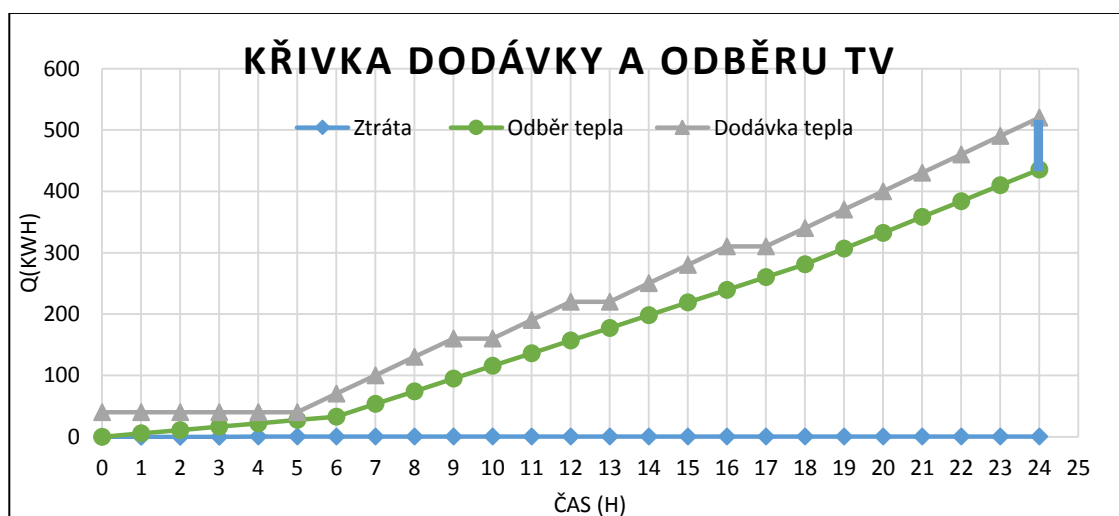
Příprava teplé vody byla řešena naprosto analogicky jako příprava teplé vody pro dům o 6 NP. V této kapitole budou uvedeny již pouze výsledky řešení velikosti akumulčních zásobníků a rozdílné vstupní hodnoty, které byly zahrnuty do výpočtu.

### 7.2.1 Potřeba teplé vody dle ČSN EN 15316-3-1

Hodnota potřeby teplé vody  $40 \text{ l/osobu} \cdot \text{den}$  byla zachována z předchozího postupu. Pro bytový dům je uvažováno s 48 bytovými jednotkami obývanými 192 lidmi. Potřeba tepla na přípravu teplé vody pro dům o 12 NP je  $Q_{2p} = 435 \text{ kWh/den}$  viz rovnice (31).

### Návrh zásobníku na teplou vodu

Aproximativní křivka pro bytový dům předpokládá odběry teplé vody uvedené v Tab. 3. dle které je sestrojena křivka dodávky a potřeby teplé vody pro 12. NP dům.



Obr. 11. Křivka dodávky a odběru teplé vody pro 12. NP dům

Největší rozdíl mezi křivkami dodávky a odběru tepla nastává v 24 hod. Rozdíl činní  $\Delta Q_{\max} = 84,5 \text{ kWh}$ . Na tento rozdíl byl navržen objem zásobníku teplé vody podle vztahu (32). Objem zásobníku je  $V_z = 1500 \text{ l}$ , výkon výměníku činní  $80 \text{ kW}$  a zásobník byl navržen od firmy Reflex AF 1500/1. Hodnoty pro vnesení grafu viz příloha P 6.

Zdroj tepla pro akumulční ohřev teplé vody byl navržen kondenzační nástěnný kotel Buderus Logamax plus GB 162 -70 o výkonu  $70 \text{ kW}$  s účinností ve vysokoteplotním režimu 89%.

### 7.2.2 Návrh akumulčního zásobníku dle DIN 4708

Postup při návrhu nabíjecí sady byl opět naprosto stejný jako pro 6. NP dům.

Hodnoty dosazované do výpočtu (33) jsou počet bytů = 48 pro 12. NP dům, součet potřeb tepla různých odběrných míst činí  $\sum w_v = 5,55$  kWh. Koeficient obsazenosti bytu byl stanoven dle DIN 4708 na hodnotu  $p = 3,5$ . Výkonové číslo zásobníku podle vztahu (33) je  $N = 45,5$ . Výkonové číslo navrhované výměňkové sady musí být stejné nebo vyšší než je vypočtené výkonové číslo. Podle výkonového čísla byla navržena výměňková sada Logalux LSP 4 se zásobníkem vody Logalux SF750. Výkonové číslo navrhované sady je  $N = 62$  s trvalým výkonem 160 kW při teplotním spádu 70/50°C. Jedná se o stojící akumulční nádobu o objemu 750 l s vedle stojícím výměňkem tepla o výkonu 160 kW. Výměňková sada je z výroby opatřena nabíjecím čerpadlem Grundfos UPS 32-80 B na straně teplé vody.

Zdroj tepla byl navržen formou kaskády dvou kondenzačních kotlů Buderus Logamax plus GB162-85 o celkovém výkonu 170 kW pouze pro přípravu teplé vody.

## 7.3 Rozvody teplé vody a cirkulace

Akumulční zásobník teplé vody je horizontálním potrubím v 1. PP vedeným pod stropem propojen se čtyřmi stoupacími potrubími. Stoupací potrubí je vedeno v instalačních šachtách. Potrubí rozvádějící teplou vodu po domě bylo vyhotoveno z polypropylenu PPR. Potrubí pro přívod teplé vody nabývá rozměrů od 20x2,8mm až po rozměr potrubí 75x10,4mm.

Cirkulační potrubí slouží k cirkulaci teplé vody ve stoupacím potrubí a akumulčním zásobníkem. Důvod instalace cirkulačního potrubí je to, by nedocházelo k vychládání teplé vody v potrubí v době, kdy nedochází k odběru teplé vody. Na výtoku teplé vody je prakticky okamžitě k dispozici teplá voda a nedochází k výrazné časové prodlevě. Průtok cirkulace teplé vody byl vypočten dle normy ČSN 75 5455. Předpokladem pro výpočet je nulový odběr vody výtakovými armaturami. Objemový průtok je dán tepelnou ztrátou přívodního potrubí od akumulčního zásobníku až po napojení na cirkulační potrubí.

Průtok hradící tepelnou ztrátu přívodního potrubí cirkulačním potrubím.

$$Q_c = \frac{\sum q_i}{c \cdot \rho \cdot \Delta t} \quad (34)$$

$Q_c$  průtok cirkulačním čerpadlem pro hrazení ztrát potrubí [m<sup>3</sup>/s]

$q$  tepelná ztráta úseku přívodního potrubí [W]

$c$  měrná tepelná kapacita teplé vody [J/kg · K]

$\Delta t$  rozdíl teplot vody mezi výstupem a cirkulač. p. [K]

$$q = q_t \cdot l \quad (35)$$

$q_t$  délková tepelná ztráta přívodního úseku potrubí [W/m]

$l$  délka úseku [m]

$$q_t = \frac{\pi \cdot (\theta_{stř} - \theta_{vzd})}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{\lambda_{\theta j}} \ln \frac{d_{zj}}{d_{vj}} + \frac{1}{\alpha_e \cdot d_e}} \quad (36)$$

$\theta_{stř}$  střední teplota vody v přívodním potrubí [°C]

$\theta_{vzd}$  teplota vzduchu v okolí tepelné izolace přívodního potrubí [°C]

$\lambda_{\theta j}$  součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky nebo její izolace [W/m · K]

$d_z$  vnější průměr vrstvy (trubky nebo izolace) [m]

$d_v$  vnitřní průměr vrstvy (trubky nebo izolace) [m]

$\alpha_e$  součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu tepelné izolace potrubí [W/m<sup>2</sup> · K]

$d_e$  vnější průměr tepelné izolace trubky [m]

$m$  počet vrstev [—]

Ochlazení teplé vody po výstupu z ohřivače až po spojení s cirkulačním potrubím je uvažováno  $\Delta t = 2$  K. Rychlost proudění v cirkulačním potrubí se pohybuje okolo  $w = 0,2$  m/s. Objemový průtok hradící tepelné ztráty v přívodním potrubí je  $Q = 0,17$  l/s. Návrh cirkulačního potrubí pro stoupačí potrubí V1 viz příloha P 3.

### 7.3.1 Hydraulické vyvážení rozvodů teplé vody

Vyvážení rozvodů teplé vody bylo řešeno pomocí termostatického multifunkčního vyvažovacího ventilu MTCV Danfoss ventil o DN 20 který je umístěn na cirkulačním potrubí. Ventil umístěný na cirkulačním potrubí zajišťuje tepelnou rovnováhu v rozvodech teplé vody udržováním konstantní teploty v soustavě omezováním průtoku v oběhovém potrubí. Pro hydraulické vyvážení bude nastaveno požadované na referenčním stoupacím potrubí s největší tlakovou ztrátou konstantní teplota 50 °C. Ventily umístěné na zbylých stoupacích potrubí byly nastaveny na teplotu 52,5 °C. Udržovaná konstantní teplota vody v cirkulačním potrubí byla stanovena z tepelné ztráty cirkulačního potrubí od posledního výtoku až po umístění ventilu na cirkulačním potrubí. Pokles teploty teplé vody od zásobníkového ohříváče až po poslední výtakovou armaturu na stoupacím potrubí jsou 2 K. Teplota teplé vody v místě poslední výtokové baterie má hodnotu 53 °C. Konstantní teplota teplé vody byla stanovena ze vztahu (38) na hodnotu 50 °C v nejzatíženějším okruhu a na 52,5°C v ostatních větvích.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (37)$$

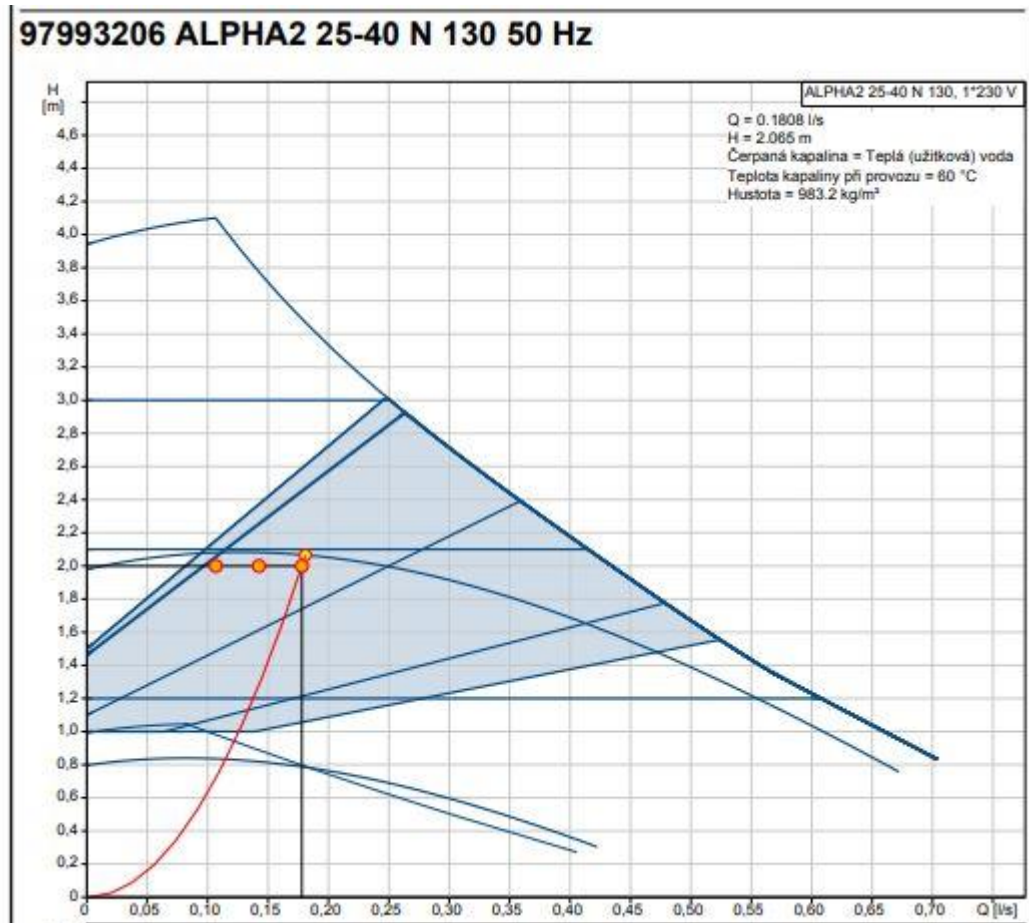
Upravením dostaneme vyjádření konstantní udržované teploty v cirkulačním potrubí.

$$t_{\text{cirk}} = t_{\text{TV}} - \frac{Q}{m \cdot c} \quad (38)$$

### 7.3.2 Návrh cirkulačního čerpadla

#### Cirkulační čerpadlo pro dům o 6 NP

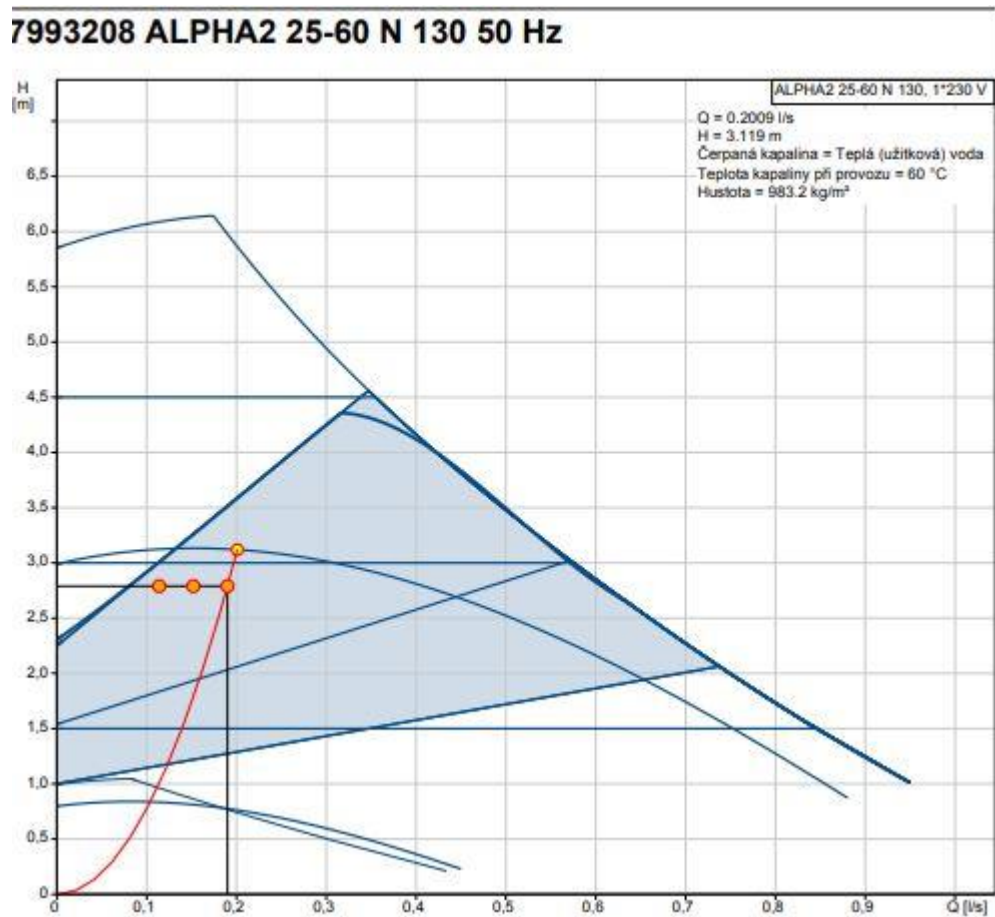
Objemový průtok v místě cirkulačního čerpadla u zásobníku teplé vody je  $Q=0,17$  l/s. Prouděním v cirkulačním potrubí vzniká tlaková ztráta v referenčním okruhu tato tlaková ztráta nabývá hodnoty 19,7 kPa. Na provozní parametry  $Q=0,17$  l/s a tlakovou ztrátu 19,7 kPa bylo navrženo cirkulační čerpadlo Grundfos Alpha 2 25-40 N 130.



Obr. 12 Tlaková charakteristika cirkulačního čerpadla Alpha 2 25-40 N 130

### Cirkulační čerpadlo pro dům o 12 NP

Objemový průtok v místě cirkulačního čerpadla u zásobníku teplé vody je  $Q = 0,19$  l/s. Prouděním v cirkulačním potrubí vzniká tlaková ztráta v referenčním okruhu 27,4 kPa.



Obr. 13 Tlaková charakteristika cirkulačního čerpadla Alpha 2 25-60 N 130

#### 7.3.3 Tepelná izolace rozvodů teplé vody a cirkulačního potrubí

Rozvody teplé vody a cirkulačního potrubí jsou opatřeny tepelnou izolací kvůli zamezení tepelných ztrát potrubí. Tepelná izolace potrubí byla navržena ve smyslu vyhlášky č 193/2007. Tloušťka tepelné izolace u vnitřních rozvodů z plastových materiálů se volí podle vnějšího průměru potrubí nejbližšího vnějšímu průměru potrubí řady DN. Tloušťka tepelné izolace v příslušných průměrech potrubí činí 20 mm. [12]

## 8. Zdroje tepla

Pro hrazení tepelných ztrát objektů bylo uvažováno několik variant přípravy tepla. V následující kapitole budou definovány jednotlivé varianty zdrojů tepla které byli vzájemně porovnány. Schéma zapojení jednotlivých variant jsou v příložené výkresové dokumentaci.

### 8.1 Centralizované zásobování teplem

Jedná se o původní referenční variantu, která byla v objektech instalována před jakoukoli rekonstrukcí a nebyla projektována v této práci. Zdroj tepla je centrální pro více objektů, kdy je distribuován pomocí potrubní sítě a předávacích stanic. Soustava CZT je městská, pro sídliště na Barandově je zdroj tepla plynová výtopna. Výhodou je centrálně řízený zdroj, vyšší tepelná účinnost a kontrola spalovacího procesu. Nevýhody jsou vysoké investiční náklady, neefektivní provoz při nízkém nebo nerovnoměrném vytížení, vysoké stáří soustav CZT, jejichž nutné úpravy to má vliv na cenu tepla. [13]

### 8.2 Plynová kotelna

Zdroj tepla tvoří plynové kondenzační kotle instalované v technické místnosti v 1. PP. Typ plynových kotlů je v provedení C, což znamená že odebírá spalovací vzduch z venkovního prostoru a spaliny odvádí rovněž do venkovního prostoru. Výkon zdrojů tepla je navržen na vypočtenou tepelnou ztrátu s připočtením 10% rezervy. Zdroje tepla pracují s teplotním spádem 60/40°C

#### 8.2.1 Plynová kotelna pro dům o 6 NP

Zdroj tepla je tvořen 3 kondenzačními nástěnnými plynovými kotly od firmy Buderus. Kaskáda dvou kotlů Logamax plus GB 192-35i o jmenovitém výkonu 33,7 kW a Logamax plus GB 192-24i o jmenovitém výkonu 23,8 kW je navržena pro hrazení tepelných ztrát objektu za cílem docílení tepelné pohody. Pro přípravu teplé vody nepřímo topeným akumulacním zásobníkem je instalován samostatný kotel Logamax plus GB 192-24i. Celkový maximální instalovaný výkon činí 83 kW.

Pro varianta s přípravou teplé vody pomocí výměňkové sady stanovené dle DIN 4708 v kapitole 7.1.2 je zapotřebí navýšení výkonu na přípravu teplé vody instalací dalšího kotle. Zdroje tepla pro vytápění se nemění oproti předchozímu stavu, tepelná

ztráta je stále stejná. Příprava teplé vody je nyní zajišťována kaskádou dvou kotlů Logamax plus GB 192-35i o celkovém výkonu 67,4 kW. Celkový maximální instalovaný výkon je 125 kW. Dle ČSN 07 0703 spadá s tímto výkonem kotelna do III. kategorie požadavky na jednotlivá opatření budou uvedena v samostatné kapitole.

#### 8.2.2 Plynová kotelna pro dům o 12 NP

Kotelna je osazena 3 plynovými kondenzačními kotly. Výkon zdrojů tepla je navržen dle vypočtené tepelné ztráty objektu. Kaskáda 2 plynových kotlů Buderus Logamatic plus GB 192-50i o celkovém jmenovitém výkonu 98 kW je určena pro vytápění. Zdroj tepla pro přípravu teplé vody nepřímo topeným akumulacním zásobníkem je kotel Logamatic plus GB 192-50i o jmenovitém výkonu 48,9 kW. Celkový instalovaný výkon 147 kW opět přesahuje hranic 100 kW výkonu v součtu všech zdrojů. Místnost musí být vybavena dle ČSN 07 0703 jako kotelna III. kategorie.

Pokud provedeme instalaci výměňkové sady pro přípravu tepla i pro dům o 12 NP, je opět nutné výkonové navýšení instalovaného zdroje tepla pro přípravu teplé vody. Výkon potřebný pro vytápění zůstává neměnný. Kaskáda 2 plynových kotlů Logamax plus GB 162-85 o celkovém instalovaném výkonu 170 kW je navržena pro přípravu teplé vody pomocí výměňkové sady navržené v kapitole 7.1.2. Celkový výkon instalovaných kotlů je 268 kW. Kotelna III. kategorie s požadavky na vybavení místnosti dle ČSN 07 0703.

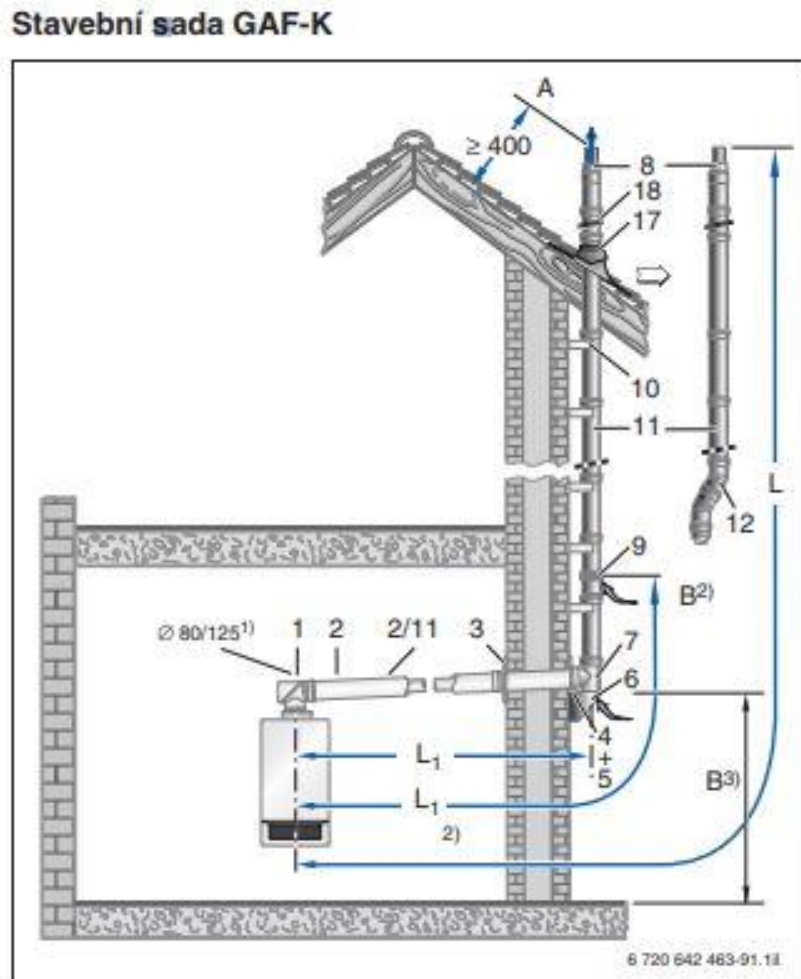


### 8.2.3 Plynová kotelna III kategorie

Norma ČSN 07 0703 rozděluje plynové kotelny do třech kategorií podle velikosti jmenovitých tepelných výkonů instalovaných kotlů v místnosti. V našem případě se jedná o kotelnu III. typu. Do kotelny III. typu patří místnost, pokud se v ní vyskytuje kotel od 50 kW do 0,5 MW v součtu všech výkonů kotlů v kotelně nebo pokud součet výkonů kotlů v kotelně přesáhne 100 kW. Kotelny III kategorie lze zřizovat ve zvláštních místnostech jako jsou sklepy suterény nebo střechy. Kotelny musí být vybaveny bezpečnostním a detekčním systémem s automatickým uzávěrem přívodu plynu, který samočinně uzavře přívod plynu při indikaci překročení limitních parametrů, i při překročení teploty vzduchu v kotelně. Detekční systém má dvoustupňovou funkci signalizace a blokace. Signalizace je zvuková a světelná do místa obsluhy. Kromě kotelen s kotly vybavenými řídicími systémy musí být zajištěno bezpečnostní vypnutí kterým se v případě nutnosti přeruší přívod elektrické energie do automatiky hořáku. Hlavní uzávěr plynu musí být mimo kotelnu na snadno přístupném místě a označen tabulkou. Podlaha kotelny musí být nehořlavá. Dveře musí být otvíravé směrem ven do větratelného prostoru. Dveře místnosti musí být označený výstražnou tabulkou. Prostor nesmí být spojen s jiným vnitřním prostorem kromě dveří. Prostupy vedení musí být řádně utěsněny. Před uvedením kotelny do provozu musí být proškolená obsluha. Nutné další vybavení jsou přenosný hasicí přístroj, pěnotvorný prostředek, lékárnička pro první pomoc, bateriová svítidla a detektor na oxid uhelnatý. Požadavek na větrání kotelny pro odvod tepelné zátěže je v zimním období zajištěn objemovým průtokem 90 m<sup>3</sup>/hod. Způsob větrání a průtok vzduchu s nutnou úpravou v klimatizačním zařízení v letním období jsou řešeny projektem vzduchotechniky.

### 8.2.4 Odvod spalin

Přívod spalovacího vzduchu a odvod spalin z místnosti je proveden jedním koncentrickým potrubím DN 80/125 mm. Spaliny jsou vyvedeny vnitřním potrubím a spalovací vzduch je nasáván mezikružím. Systém odvodu spalin pro provoz nezávislý na vzduchu v místnosti dodává firma Buderus pod označením stavební sady GAF-K, kdy je potrubí vedeno po fasádě objektu. Vzhledem k tomu, že se jedná o rekonstrukci, je tento systém ideální pro vedení komína po fasádě. Přesah komína nad vodorovnou střechou je 1 m. Nutné vzít v potaz výšku sněhové pokrývky T kus je v dostatečné výšce nad zemí 1,2 m sněhem. Objekt se nachází v takovém klimatickém pásu kde nehrozí aby došlo k zavalení sání spalovacího vzduchu sněhem. [14]



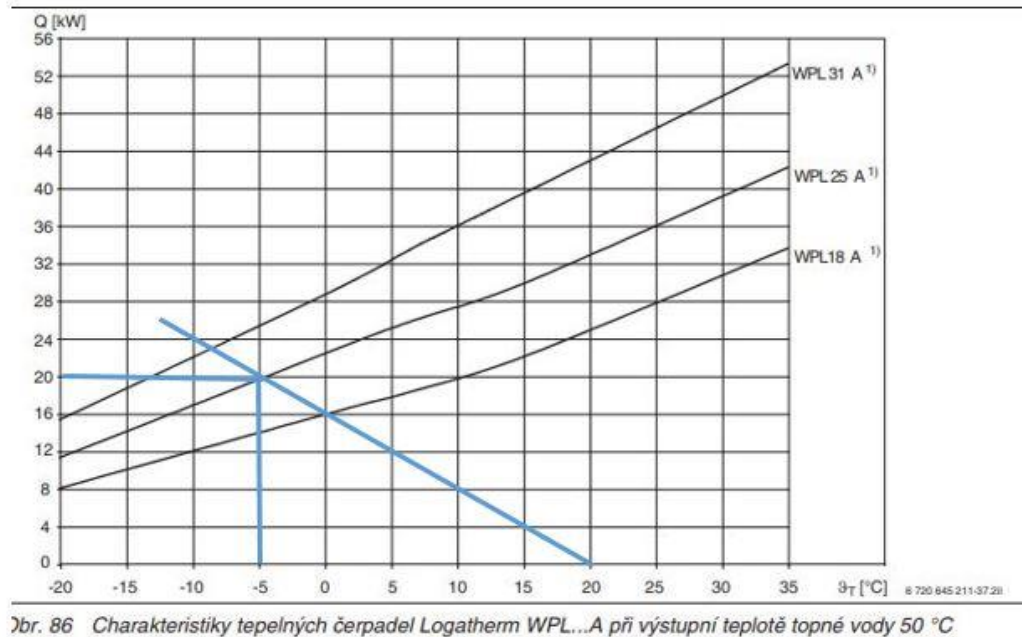
Obr. 14 Stavební sada GAF-K

### 8.3 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je moderní a stále častěji volený zdroj tepla, nicméně stále jsou jeho pořizovací náklady mnohem vyšší než u klasických zdrojů tepla jako například plynový kondenzační kotel. Typ instalovaných čerpadel je vzduch/voda. Venkovní instalace tepelného čerpadla musí být umístěna na základový podstavec o rozměrech 1310x815 mm. Základ musí být trvale pevný, hladký a vodorovný ideálně z litého betonu. Tepelné čerpadlo musí být přístupné ze všech stran odstup od stěn, teras atd. by měl být minimálně 3 m. Rozestup mezi jednotlivými čerpadly musí být minimálně 800 mm. Za určitých klimatických podmínek může vznikat kondenzát. Kondenzát je nutné odvést přes sifon do kanalizace nebo do drenáže. Odvod kondenzátu bude izolován a opatřen elektrickým topným kabelem, aby se zamezilo riziku zámrazy v odvodu kondenzátu při nízkých venkovních teplotách. Veškerá navrhovaná tepelná čerpadla jsou řešena jako bivalentní zdroj tepla s elektrickou topnou patronou o výkonu 9 kW. Každá varianta má stanovený bod bivalence, kdy je už nedostatečný výkon tepelného čerpadla a spíná se elektrická topná patrona na základě venkovní teploty. Teplotní spád pro tepelná čerpadla je 50/35°C z důvodu dosažení rozumného sezonního topného faktoru. Změněný teplotní spád vedl ke změně otopné plochy pro dostatečné pokrytí tepelných ztrát v místnosti a zachování tak tepelné pohody. Pro zamezení častého spínání a vypínání zdrojů tepla, zejména v přechodném období, je navržena akumulární nádrž. Dům o 6 NP je vybaven akumulární nádrží Reflex PH 2000 o objemu 2 m<sup>3</sup>. Dům o 12. NP je vybaven akumulární nádrží Reflex PH 3000 o objemu 3 m<sup>3</sup>. Kaskáda tepelných čerpadel je propojena přes rozhraní Ethernet pomocí kaskádových kabelů. [15]

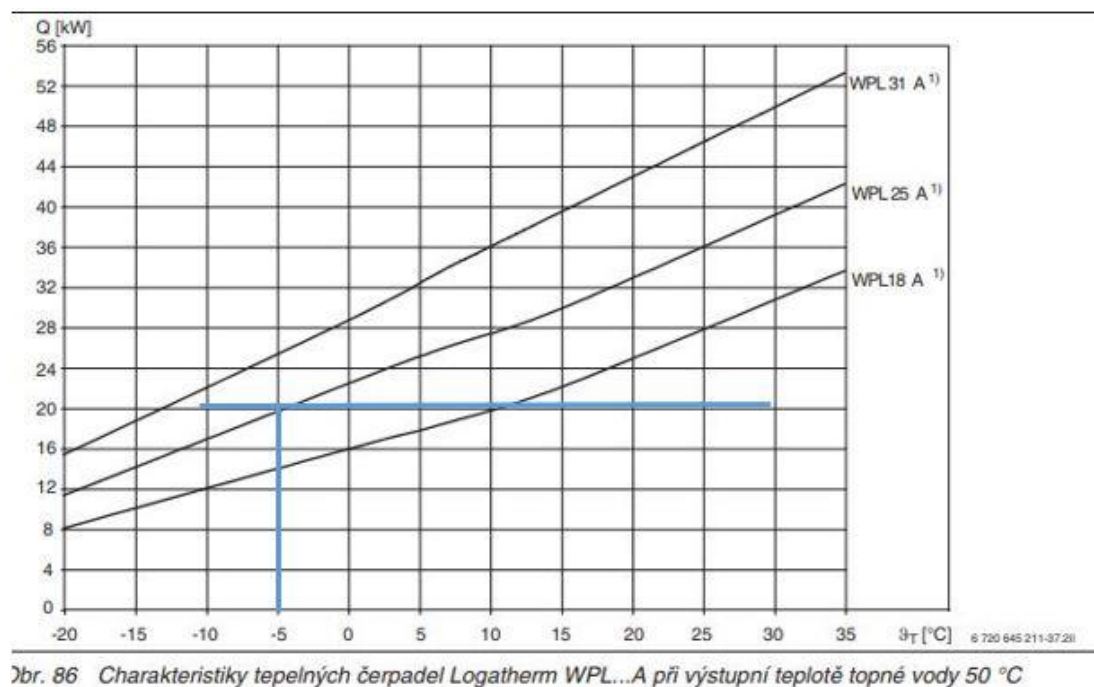
#### 8.3.1 Tepelná čerpadla pro dům o 6 NP

Tepelná ztráta objektu je hrazena instalovanými zdroji tepla v podobě tepelného čerpadla vzduch/voda od firmy Buderus. Tepelná ztráta byla rozdělena na 25 kW a na tuto hodnotu byla navržena dvě naprosto identická tepelná čerpadla Logatherm WPL 25 A se dvěma kompresory s bodem bivalence v -5°C. Bivalentní zdroj tvoří v každém tepelném čerpadle elektrická topná patrona o výkonu 9 kW. Celkový instalovaný výkon i s bivalentním zdrojem činí 56 kW. Sezonní topný faktor pro tepelné čerpadlo na vytápění v tomto případě činí SPF=2,64



Obr. 15 Diagram návrhu tepelného čerpadla WPL vytápění 6 NP

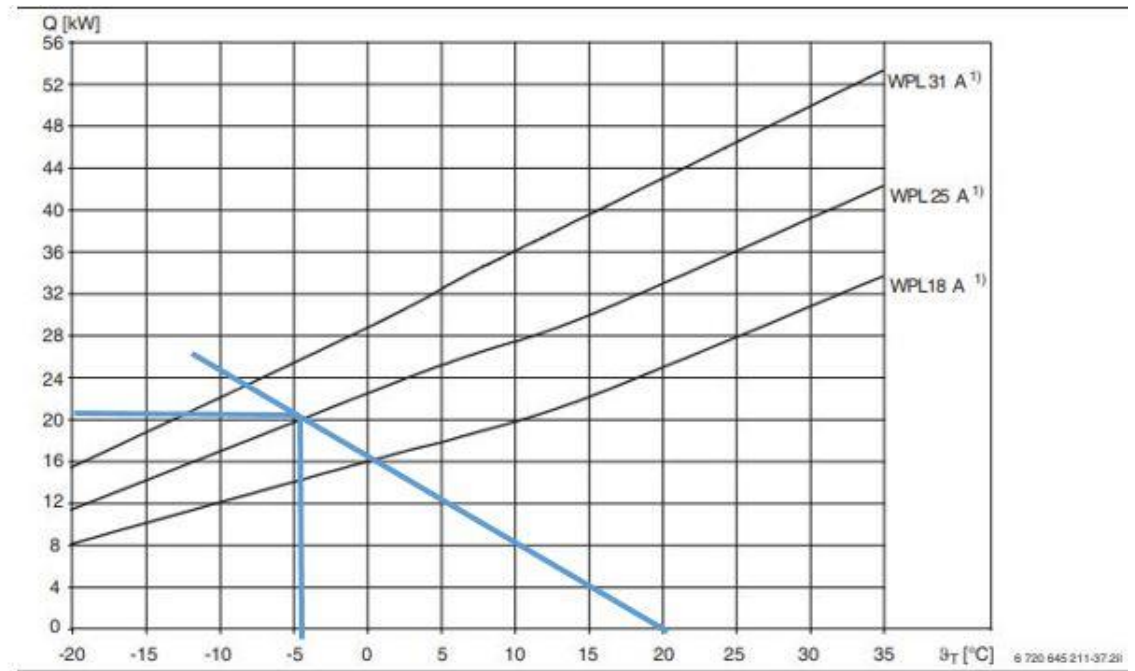
Na přípravu teplé vody je použito tepelné čerpadlo Logatherm WPL 25 A se dvěma kompresory s bodem bivalence v  $-3\text{ °C}$  jako bivalentní zdroj tepla je opět počítána elektrická topná patrona o výkonu 9 kW. Sezónní topný faktor přípravu teplé vody je  $\text{SPF}=2,74$



Obr. 16 Diagram návrhu tepelného čerpadla WPL teplá voda 6 NP

### 8.3.2 Tepelná čerpadlo pro dům o 12 NP

Pro hrazení tepelných ztrát je použit stejný typ tepelného čerpadla jako ve variantě v domě o 6 NP a to konkrétně vzduch/voda. Navržena byla tři tepelná čerpadla Logatherm WPL 25 A se dvěma kompresory s bodem bivalence v  $-4^{\circ}\text{C}$ . Každé tepelné čerpadlo je vybaveno elektrickou topnou patronou výkonu 9 kW. Sezónní topný faktor této instalace činní  $\text{SPF}=2,64$ .



Obr. 86 Charakteristiky tepelných čerpadel Logatherm WPL...A při výstupní teplotě topné vody  $50^{\circ}\text{C}$

Obr. 17 Diagram návrhu tepelného čerpadla WPL vytápění 12 NP

Příprava teplé vody v takovém množství, jaké je potřebné pro dům o 12 NP, je již pomocí tepelného čerpadla značně nákladná a neefektivní. Zdroj tepla pro přípravu teplé vody byl navržen elektrokotel Bosch Tronic 5000 H o výkonu 45kW.

## 8.4 Solární technika

Solární technika je instalována v podobě termické solární soustavy pro přípravu teplé vody. Deskový kolektor Logasol SKT1.0 od firmy Buderus v počtu 25 kusů je osazen na střeše budovy. Kolektory jsou instalovány na nosné konstrukci dodávané výrobcem pod sklonem 45° s orientací na jih. Mezi jednotlivými řadami deskových kolektorů je 3,9 m široké mezery aby nedocházelo ke vzájemnému stínění v zimních měsících. Montáž kolektorů rovněž není možná po boku výtahové šachty z důvodu stínění. Kompletní stanice Logasol KS0150/2 pomocí fukčního modulu MS200 je inteligentně propojena s kotlovou regulací. Součástí kompletní stanice Logasol je solární oběhové čerpadlo Wilo Stratos Para 15/1-9. Mezi další vybavení stanice patří zpětná klapka, pojistný ventil a integrovaný odlučovač vzduchu. Kompletní předávací stanice je instalována v technické místnosti na potrubí vedoucím k solárnímu poli. Expanzní nádoba není součástí dodávky a byla proto navržena od firmy Reflex S140/10 o objemu 140 l. Mezi technologiemi pro dům o 6 NP a 12 NP není rozdíl, protože střecha má stejné rozměry. [16]

### 8.4.1 Solární zásobník

Navržený zásobník pro teplou vodu je doplněn akumulacním zásobníkem Secespol TXE 2500 PFSS pro solární soustavu. Akumulační zásobník tvoří predehřivací zásobník pro pohotovostní zásobník, který byl navržen v kapitole 7. Oba zásobníky jsou propojeny potrubím Cu 22x1 mm, a na kterém je osazeno přečerpávací čerpadlo PZ. Pokud je teplota v akumulacním zásobníku vyšší než teplota v pohotovostním zásobníku je sepnuto přečerpávací čerpadlo dokud nejsou teploty rovny. Přečerpávací čerpadlo je ovládáno pomocí solárního modulu MS200. [16]

### 8.4.2 Energie

Solární soustava dodá do systému za rok 33,25 MWh/rok. Každý rok solární systém ušetří 35,3% energie na přípravu teplé vody pro 6 NP dům u domu o 12 NP je tato úspora 26 %. Menší procento úspory energie je z důvodu větší potřeby teplé vody při stejné ploše kolektorového pole. Výpočet bilance solárního systému byl proveden pomocí výpočtového nástroje poskytnutého panem doc. Ing. Tomášem Matuškou, Ph.D.

## 9. Regulace

Nezbytnou součástí otopné soustavy je regulace pro dosažení hospodárného provozu a nárokům. Regulací otopných soustav chápeme jako regulaci dodávky tepla do vytápěného prostoru, ale i zajištění hydraulické stability potrubní sítě. [17]

### 9.1 Regulace otopné soustavy

Regulace je navržena jako kvalitativní, kdy se mění při této regulaci teplota otopné vody při konstantním průtoku. Dále se jedná o zónovou regulaci, kdy je objekt rozdělen na dvě samostatné větve: západní a východní. Regulace teploty otopné vody v závislosti na venkovní teplotě je ekvitermní regulací. Při použití ekvitermní a zónové regulaci dosahujeme úspory tepla 15-30% vzhledem k původní spotřebě. Soustava je řízena pomocí obslužné jednotky RC 300 a modem MM 100 pro směšované otopné okruhy. [18]

#### 9.1.1 Regulace podle venkovní teploty

Regulace teploty přírodní vody je v přímé v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Závislost teploty přírodní a teploty venkovního vzduchu je dána otopnou křivkou. Otopná tělesa mají vliv na prohnutí otopné křivky. Venkovní teplota vzduchu je snímána čidlem na severní straně fasády domu. Optimální měření teploty je zajištěno, pokud se čidlo teploty nevyskytuje nad okny, dveřmi, větracími otvory, markýzami, balkóny nebo střechou. Otopná křivka je mimo jiné závislá na teplotním spádu na otopných tělesech, na druhu otopné soustavy a na tepelně technických vlastnostech objektu. Správný tvar otopné křivky je zjištěn experimentálně. Pro celou otopnou soustavu, popřípadě pro jednotlivé zóny, je přírodní voda regulována dle geometrické venkovní teploty. Každé otopné těleso je vybaveno termoregulačním ventilem pro místní regulaci. [18]

### 9.2 Regulace teplé vody

Teplá voda je regulována podle teploty vody v zásobníku. Zdroj tepla je instalován výhradně pro přípravu teplé vody. Pokud je teplota vody nižší než 55°C je zdroj tepla sepnut, pokud je teplota stejná nebo vyšší je zdroj tepla vypnut.

### 9.3 Regulace zdroje tepla

Zdroj tepla je řízen ekvitermně a to modulovaným provozem. Regulace kaskády plynových kondenzačních kotlů je provedena pomocí obslužné jednotky RC 300 s potřebným čidlem venkovní teploty. Kaskáda kotlů je řízena kaskádovým modulem MC400 do kterého je napojena obslužná jednotka RC 300. Kaskáda tepelných čerpadel je řízena pomocí Logamatic HMC20. Regulace HMC20 je schopna řídit jeden směšovací okruh z toho to důvodu je potřebná instalace karty HMC20Z, aby bylo umožněno řízení dalšího směšovacího okruhu viz schéma zapojení. Regulace HMC20 pro venkovní tepelná čerpadla je instalovaná na stěnu v technické místnosti.



## 10. Pojistné a zabezpečovací zařízení

Pojistné zařízení zajišťuje, aby nedošlo k překročení nejvyššího dovoleného přetlaku v soustavě. Zabezpečovací zařízení je v soustavě osazeno z důvodu změny tlaku a objemu v závislosti na teplotní roztažnosti vody.

### 10.1 Pojistné zařízení

Chrání zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku instalováním pojistného ventilu. Pojistný ventil v případě překročení nastaveného přetlaku odpustí přebytečný tlak, aby se snížil tlak na požadovanou hodnotu. Pro soustavu v domě o 6 NP byl navržen ventil Duco s otevíracím přetlakem  $p_{ot}=250$  kPa. Pro soustavu v domě o 12 NP byl navržen ventil Duco s otevíracím přetlakem  $p_{ot}=500$  kPa. Zároveň je zajištěno že není překročena tlaková odolnost nejméně odolného článku v soustavě.

## 10.2 Zabezpečovací zařízení

Zabezpečovací zařízení umožňuje vyrovnání roztažnosti vody v otopné soustavě vlivem změny teploty bez ztráty vody v soustavě. Dodržení přetlaku v předepsaných mezích v otopné soustavě je hlavním úkolem expanzní nádoby. Expanzní nádoba je navržena jako tlaková, membránová od firmy Reflex. [19]

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_s \cdot n}{\eta} \quad (39)$$

$V_s$       Objem vody v otopné soustavě      [m<sup>3</sup>]

$n$       Součinitel zvětšení objemu      [–]

$\eta$       Stupeň využití expanzní nádoby      [–]

$$\eta = \frac{p_{h,dov,abs} - p_{d,dov,abs}}{p_{h,dov,abs}} \quad (40)$$

$p_{h,dov,abs}$       Součinitel zvětšení objemu      [kPA]

$$p_{h,dov,abs} = p_{otv} + 100 \quad (41)$$

$p_{otv}$       Otevírací přetlak pojistného ventilu      [kPA]

$$p_{d,dov,abs} = 1,1 \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot 10^3 + p_B \quad (42)$$

$p_{d,dov,abs}$       Hydrostatický absolutní tlak      [kPA]

$h$       Výška vodního sloupce nad expanzní nádobou      [m]

$\rho$       Hustota vody      [kg/m<sup>3</sup>]

$p_B$       Barometrický tlak      [kPA]

Výše uvedenými vztahy byly navrženy tlakové expanzní nádoby pro jednotlivé technologie a objekty. Každá technologie má svůj specifický objem soustavy a výšku objektu je taktéž proměnná mezi domy 6 NP a 12 NP. Navržené expanzní nádoby jsou pro dům o 6 NP Reflex N 200/6 nebo N 300/6. Dům o 12 NP je vybaven expanzní nádobou Reflex N 400/6 nebo N 500/6 viz schéma zapojení pro konkrétní technologii.

## 11. Potřeba tepla

Výpočet potřeby tepla je podklad pro prognózu budoucí energetické náročnosti dané budovy. Potřeba tepla byla vypočtena pro vytápění a pro přípravu teplé vody. Výpočet potřeby energie byl proveden dle normy ČSN EN ISO 13 790. Potřeba tepla prostupem je dána vztahem č. 43 a větráním je dána vztahem č. 44.

$$Q_H = H_T \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{1000} * n_{\text{hod}} \quad (43)$$

$Q_H$  Potřeba tepla tepelnou ztrátou prostupem [kWh]

$H_T$  Měrný tepelný tok prostupem tepla [W/K]

$n_{\text{hod}}$  Počet hodin v měsíci [hod]

$\theta_i$  Průměrná vnitřní teplota [°C]

$\theta_e$  Průměrná venkovní teplota za dané období [°C]

$$Q_V = H_V \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{1000} * n_{\text{hod}} \quad (44)$$

$Q_V$  Potřeba tepla tepelnou ztrátou větráním [kWh]

$H_V$  Měrný tepelný tok větráním [W/K]

Sečtením výše uvedených vztahů dostáváme celkovou potřebu tepla, která bude ještě ale snížena o tepelné zisky vnitřní a vnější. Vnitřní tepelné zisky od lidí a vnější tepelné zisky solární radiací. Přítomnost osob v bytě činní ročně přibližně 70 % s ohledem na počet osob se uvažuje zisk  $\Phi_{s,o}=100$  W/osoba. Tepelné zisky od domácích spotřebičů se uvažují jako  $\Phi_{s,p}=100$  W/bytovou jednotku. [20]

$$\Phi_{\text{zisk}} = \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p} \quad (45)$$

Vnější tepelné zisky

$$\Phi_{\text{sol}} = F_{\text{sh}} \cdot \sum A_{\text{sol}} \cdot I_{\text{sol}} - F_{\text{rj}} \cdot \Phi_{\text{r,i}} \quad (46)$$

$F_{\text{sh}}$  Korekční činitel stínění [–]

$g_n$  Celková propustnost zasklení [–]

$I_{\text{sol}}$  Celkové solární záření za měsíc [kWh/m<sup>2</sup>]

$\Phi_{\text{r,i}}$  Sálání vůči obloze [W/m<sup>2</sup>]

$$A_{\text{sol}} = F_{\text{sh}} \cdot g_{\text{gl}} \cdot (1 - F_{\text{t}}) \cdot A_{\text{w,pohl}} \quad (47)$$

$$\Phi_{\text{r,i}} = R_{\text{s,e}} \cdot U_{\text{c}} \cdot A_{\text{c,pohl}} \cdot h_{\text{r}} \cdot \Delta t_{\text{e,r}} \quad (48)$$

Tab. 10 Potřeba tepla pro dům o 6 NP na vytápění

měsíc	den	nhod	te	Potřeba tepla	Potřeba	
				původní stav	tepla po	
[-]	[den]	[hod]	[°C]	QH,nd	zateplení	
				[kWh]	[kWh]	
Leden	31	744	-1	49177	11482	
Únor	28	672	1	37400	8413	
Březen	31	744	4	30850	6342	
Duben	30	720	9	15031	2608	
Květen	31	744	15	0	0	
Červen	30	720	17	0	0	
Červenec	31	744	18	0	0	
Srpen	31	744	19	0	0	
Září	30	720	14	3843	525	
Říjen	31	744	9	15679	2811	
Listopad	30	720	4	32437	7205	
Prosinec	31	744	-1	47864	11546	
$\Sigma$				232 281	50 933	kWh/rok

Tab. 11 Potřeba tepla na přípravu teplé vody v 6 NP

měsíc	den	nhod	studená	teplá	Snížení	potřeba	
[-]	[den]	[hod]	[°C]	[°C]	%	energie	
						kWh	
Leden	31	744	10	60		6921	
Únor	28	672	10	60		6251	
Březen	31	744	10	60		6921	
Duben	30	720	10	60		6698	
Květen	31	744	10	60		6921	
Červen	30	720	10	60		6698	
Červenec	31	744	10	60	25	5191	
Srpen	31	744	10	60	25	5191	
Září	30	720	10	60		6698	
Říjen	31	744	10	60		6921	
Listopad	30	720	10	60		6698	
Prosinec	31	744	10	60		6921	
$\Sigma$						78027	kWh/rok

Tab. 12 Potřeba tepla pro dům o 12 NP na vytápění

měsíc	den	nhod	te	Potřeba tepla	Potřeba tepla	
				původní stav	po rekonstrukci	
[-]	[den]	[hod]	[°C]	QH,nd	QH,nd	
				[kWh]	[kWh]	
Leden	31	744	-1	101500	20703	
Únor	28	672	1	76394	15076	
Březen	31	744	4	63101	11278	
Duben	30	720	9	30817	4584	
Květen	31	744	14,6	0	0	
Červen	30	720	17	0	0	
Červenec	31	744	18,2	0	0	
Srpen	31	744	18,8	0	0	
Září	30	720	13,8	7908	912	
Říjen	31	744	9,4	32118	4955	
Listopad	30	720	4	66247	12902	
Prosinec	31	744	-0,5	97684	20820	
$\Sigma$				475 769	91 230	kWh/rok

Tab. 13 Potřeba tepla na přípravu teplé vody v 12 NP

měsíc	den	nhod	studená	teplá	Snížení	Potřeba tepla	
					dodávky		
[-]	[den]	[hod]	[°C]	[°C]	%	kWh	
Leden	31	744	10	60		14130	
Únor	28	672	10	60		12763	
Březen	31	744	10	60		14130	
Duben	30	720	10	60		13674	
Květen	31	744	10	60		14130	
Červen	30	720	10	60		13674	
Červenec	31	744	10	60	25	10598	
Srpen	31	744	10	60	25	10598	
Září	30	720	10	60		13674	
Říjen	31	744	10	60		14130	
Listopad	30	720	10	60		13674	
Prosinec	31	744	10	60		14130	
$\Sigma$						159 305	kWh/rok

Z potřeby tepla je patrné, že vytápění bude přerušovaný provoz. Doba kdy se nebude vytápět je od května do září. Příprava teplé vody je nepřetržitá přes celý rok. V letních měsících červenec a srpen je uvažovaná potřeba teplé vody snížena o 25 % z důvodu dovolených a výletů.

Spotřebovaná energie, která je nutná dovést do objektu v podobě paliva nebo elektrické energie je stanovena z potřeby tepla podělená účinností dané technologie přípravy tepla. Spotřeba tepla pro plynovou kondenzační kotelnu v domě o 6 NP po rekonstrukci je 115 624 kWh/rok. Tepelné čerpadlo spotřebuje pro stejný objekt 19 293 kWh/rok. Spotřeba tepla pro přípravu teplé vody pomocí plynového kondenzačního kotle činí pro 6 NP dům 115 624 kWh/ rok. Příprava teplé vody pomocí tepelného čerpadla vyžaduje 28 477 kWh/rok. Doplněním solárního systému dostáváme nižší hodnoty potřeby energie na přípravu teplé vody pro plynovou kotelnu je to 69 112 kWh a pro tepelné čerpadlo spotřeba energie činí 19 293 kWh.

Na vytápění je zapotřebí dodat do plynové kotelny v domě o 12 NP 123 792 kWh/rok a při použití tepelných čerpadel je to 38 396 kWh/rok. Pro doplnění hodnoty spotřeby tepla v domě o 12 NP plynová kondenzační kotelná spotřebuje na přípravu teplé vody 225 620 kWh/rok, elektro kotel 178 490 kWh/rok. Instalováním solárního systému se spotřeba energie na přípravu teplé vody sníží na hodnotu 178 449 kWh/rok a při použití elektro kotle je to 141 173 kWh/rok.

## 12. Doba návratnosti jednotlivých variant

Ze hledisek kterými se mohou jednotlivé navržené systémy hodnotit je celá řada. Hlavním kritériem v porovnávání jednotlivých variant je cena a to nejen cena pořizovací ale i cena provozních nákladů. Doba návratnosti je doba za kterou se uhradí investice do technologie na úspore. Dle doby návratnosti budeme hodnotit jednotlivé varianty řešení. Nejdříve je nutné si definovat provedení jednotlivých variant. Při tvorbě grafu bylo uvažováno s meziročním růstem ceny dané komodity a to u CZT a plynu byl růst cen o 3% u elektrické energie byl růst cen 2%.

### 12.1 Dům o 6 NP

Varianta č. 0 je výchozí stav ve kterém nebyla provedena rekonstrukce a pro přípravu teplé vody a vytápění je použito centralizované zásobování teplem (CZT).

Varianta č. 1 objekt není zateplen, jako zdroj tepla je použito CZT s použitím solárního systému na přípravu teplé vody.

Varianta č. 2 objekt je zateplen a byla provedena výměna oken na přípravu teplé vody a vytápění je použito CZT.

Varianta č. 3 objekt je zateplen a byla provedena výměna oken jako zdroj tepla je užitá CZT s použitím solární soustavy na předehřev teplé vody.

Varianta č. 4 objekt je zateplen a byla provedena výměna oken jako zdroj tepla byla užitá plynová kondenzační kotelna. Příprava teplé vody je řešena plynovým kondenzačním kotlem s akumulčním nepřímo topeným zásobníkem.

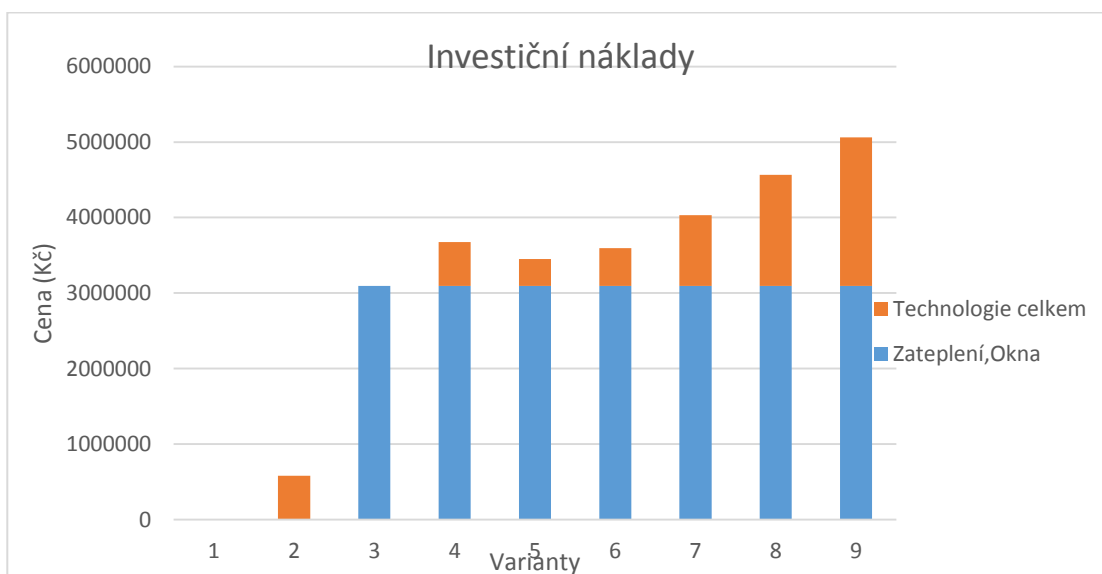
Varianta č.5 objekt zateplen s vyměněnými výplněmi otvorů jako zdroj tepla plynová kondenzační kotelna. Příprava teplé vody je řešena pomocí výměňkové sady a akumulční nádrže. Řešení pomocí této varianty se dostáváme do kotelny III. kategorie kde musíme provést určitá opatření popsaná v kapitole č. 8.2.3.

Varianta č.6 objekt zateplen s vyměněnými výplněmi otvorů jako zdroj tepla je užitá plynová kondenzační kotelna. Příprava teplé vody je řešena akumulčním nepřímo topeným zásobníkem s využitím solárního systému předehřevu teplé vody.

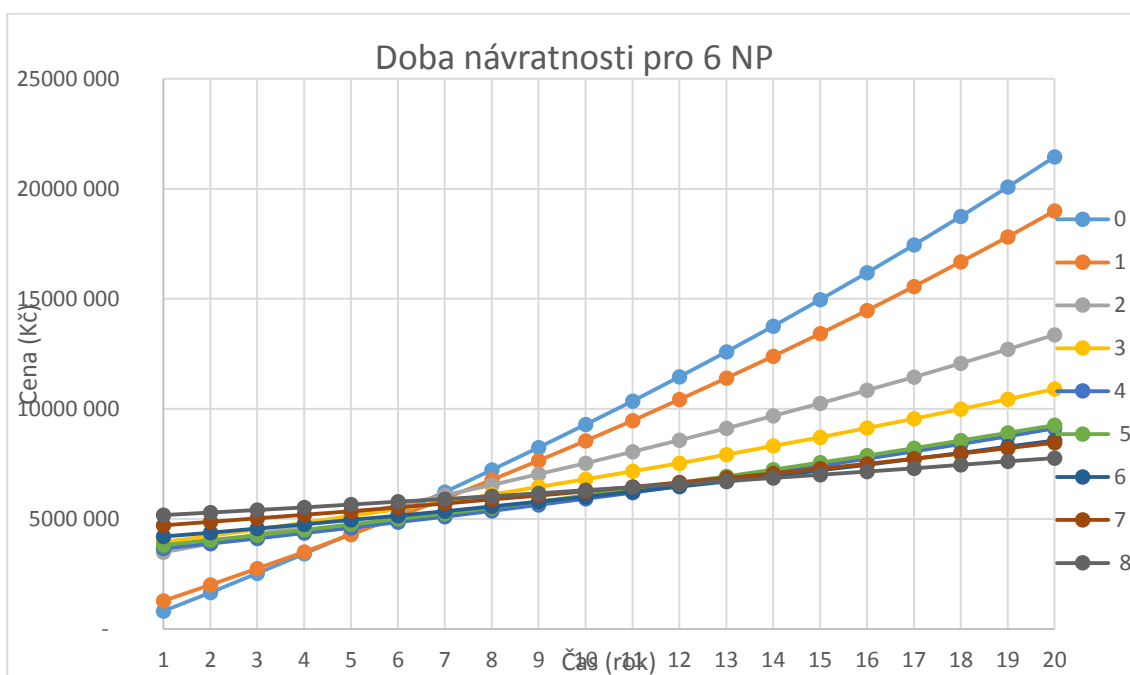
Varianta č. 7 objekt je rekonstruován, jako zdroj tepla jsou užitá tepelná čerpadla vzduch voda. Kvůli změně teplotního spádu musí být vyměněna otopná plocha v celém

objektu. Akumulační nádrž je instalována z důvodu optimalizace chodu zdroje tepla což má za následek zvětšení objemu vody v soustavě a osazením větší expanzní nádoby. Příprava teplé vody je řešena samostatným tepelným čerpadlem s akumulacím nepřímo topeným zásobníkem.

Varianta č. 8 objekt je rekonstruován a jako zdroj tepla je použita technologie tepelných čerpadel s přehřevem teplé vody pomocí solárního systému.



Obr. 18 Investiční náklady



Obr. 19 Doba návratnosti jednotlivých variant



Porovnání jednotlivých variant proběhlo po odfiltrování ostatních variant. Každé technologické řešení bylo porovnáno s 0 variantou řešení. Průsečíkem jednotlivých variant je stanovena doba návratnosti daného řešení.

Tab. 14 Doba návratnosti pro 6 NP

Varianta	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5	0-6	0-7	0-8
Návratnost (roky)	5	7	6	5,5	6	6	7	7

Z uvedených dat vyplývá že s vyšší investicí ušetříme větší množství energie. Nejkratší doba návratnosti neznámá nejvýhodnější technologické řešení ve variantě č. 1 vyšla nejkratší doba návratnosti nicméně se jedná o nejnižší investiční náklady. Malé investiční náklady se nám vracejí poměrně dlouhou dobu. Tepelné čerpadlo ve variantě č. 7 vykazuje značnou úsporu energie. Za 6 let provozu jsme schopni navrátit počáteční investici do technologie a rekonstrukce obálky budovy. Podobný časový úsek nám stačil, abychom ušetřili výrazně větší finanční obnos oproti variantě č. 1 avšak s mnohem vyšší investovanou částkou. Počáteční vyšší investice do technologického řešení varianty č. 7 je navracena v podobě úspor za 6 let. Předpokládaná životnost okolo 20 let dává prostor pro vytvoření finanční rezervy pro následnou modernizaci a rekonstrukci systému.

## 12.2 Dům o 12 NP

Definice variant je obdobná jako v případě domu o 6 NP.

Varianta č. 0 je výchozí stav ve kterém nebyla provedena rekonstrukce, a pro přípravu teplé vody a vytápění je použito centralizované zásobování teplem (CZT).

Varianta č. 1 objekt není zateplen, jako zdroj tepla je použito CZT s použitím solárního systému na přípravu teplé vody.

Varianta č. 2 objekt je zateplen a byla provedena výměna oken na přípravu teplé vody a vytápění je použito CZT.

Varianta č. 3 objekt je zateplen a byla provedena výměna oken, jako zdroj tepla je užit CZT s použitím solární soustavy na předehřev teplé vody.

Varianta č. 4 objekt je zateplen a byla provedena výměna oken, jako zdroj tepla byla užitá plynová kondenzační kotelná. Příprava teplé vody je řešena plynovým kondenzačním kotlem s akumulacním nepřímo topeným zásobníkem. Součet výkonů

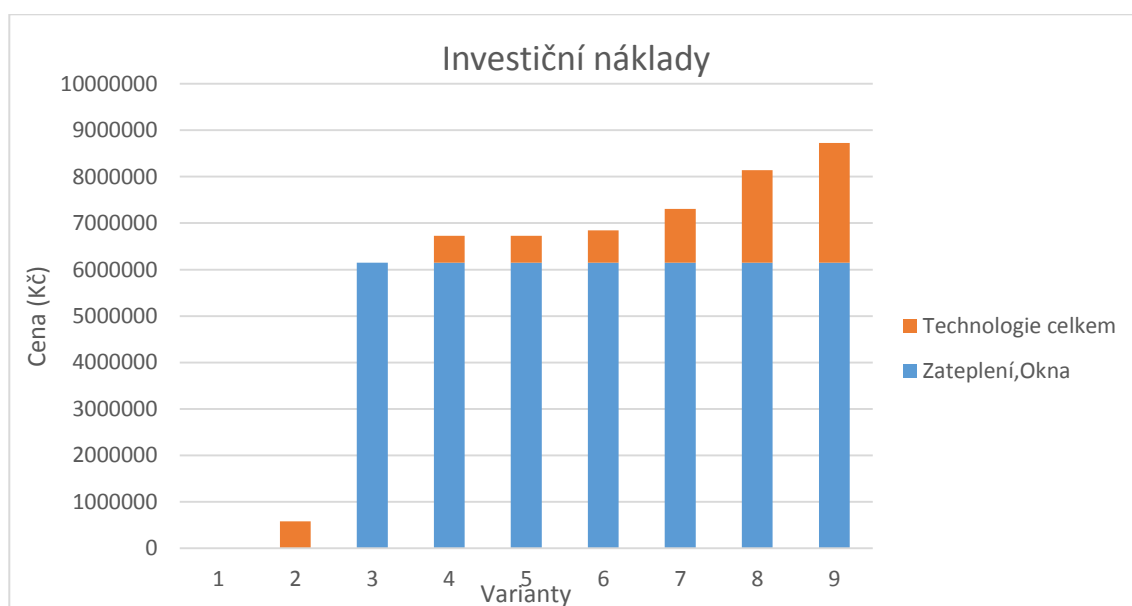
všech zdrojů tepla v kotelně přesahuje 100 kW, a proto spadá kotelna do III. kategorie. Nezbytnou nutností jsou předepsaná opatření popsána v kapitole č. 8.2.3.

Varianta č. 5 objekt zateplen s vyměněnými výplněmi otvorů jako zdroj tepla plynová kondenzační kotelna. Příprava teplé vody je řešena pomocí výměňkové sady a akumulární nádrže. Řešení pomocí této varianty se dostáváme do kotelny III. Kategorie, kde musíme provést určitá opatření popsána v kapitole č. 8.2.3.

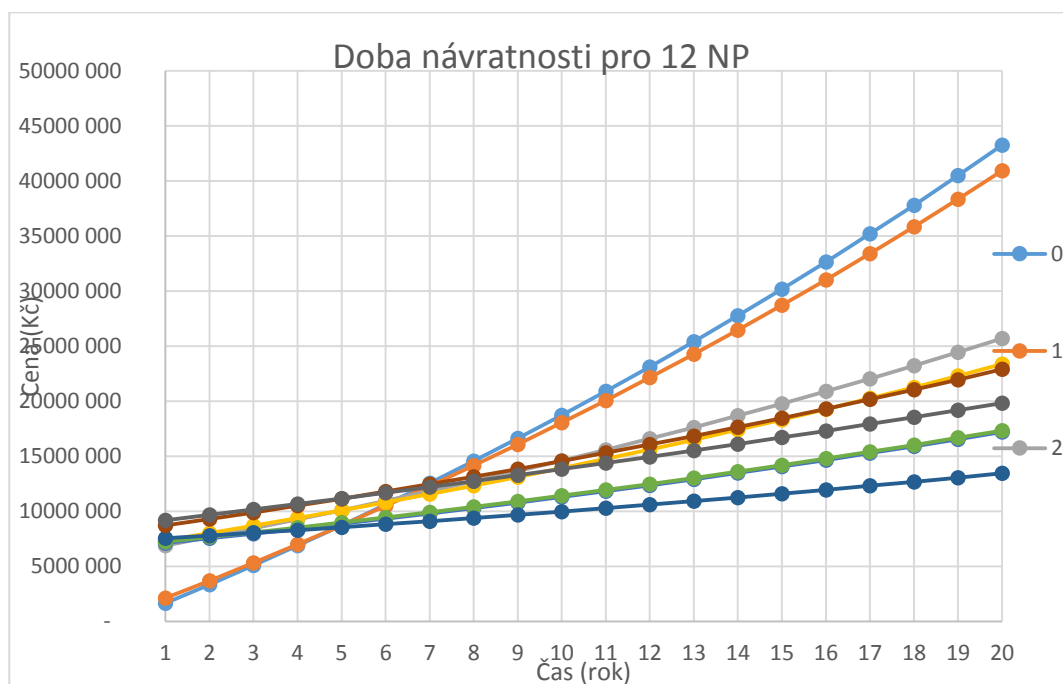
Varianta č. 6 objekt zateplen s vyměněnými výplněmi otvorů jako zdroj tepla je užitá plynová kondenzační kotelna. Příprava teplé vody je řešena akumulárním nepřímým topným zásobníkem s využitím solárního systému předehřevu teplé vody. Nutná realizace opatření pro kotelny III. kategorie.

Varianta č. 7 objekt je rekonstruován, jako zdroj tepla jsou užitá tepelná čerpadla vzduch/voda. Kvůli změně teplotního spádu musí být vyměněna otopná plocha v celém objektu. Akumulární nádrž je instalována z důvodu optimalizace chodu zdroje tepla což má za následek zvětšení objemu vody v soustavě a osazením větší expanzní nádoby. Příprava teplé vody je řešena samostatným elektro kotlem s akumulárním nepřímým topným zásobníkem.

Varianta č. 8 objekt je rekonstruován a jako zdroj tepla je použita technologie tepelných čerpadel s předehřevem teplé vody pomocí solárního systému. Příprava teplé vody je provedena pomocí samostatného elektro kotle.



Obr. 20 Investiční náklady jednotlivých variant



Obr. 21 Doba návratnosti jednotlivých variant

Odfiltrováním jednotlivých variant z grafu dostaneme dobu návratnosti vztaženou k 0 variantě obdobně jako pro dům o 6 NP.

Tab. 15 Doba návratnosti pro 12 NP

Varianta	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5	0-6	0-7	0-8
Návratnost (roky)	5	6,5	6	5,5	5,5	5	7,5	7

Dle doby návratnosti v jednotlivých variantách opět můžeme vidět, že s rostoucími investicemi roste i množství úspor. Doba návratnosti se nám oproti domu o 6 NP nepatrně prodloužila.

### 12.3 Ekonomické zhodnocení

Porovnání obou variant panelových domů a to 6 NP a 12 NP.

Tab. 16 Doba návratnosti pro 6 NP

Varianta	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5	0-6	0-7	0-8
Návratnost (roky)	5	7	6	5,5	6	6	7	7

Tab. 17 Doba návratnosti pro 12 NP

Varianta	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5	0-6	0-7	0-8
Návratnost (roky)	5	6,5	6	5,5	5,5	5	7,5	7

Tab. 18 Investice x. úspora pro 6 NP

Varianta	Investice (Kč)	Úspora za 20 let (Kč)
0	0	0
1	581 051	2 456 627
2	3 095 778	8 084 545
3	3 676 829	10 541 172
4	3 449 878	12 326 606
5	3 596 878	12 179 606
6	4 030 928	12 874 867
7	4 567 060	12 987 579
8	5 061 660	13 674 241

Tab. 19 Investice x úspora pro 12 NP

Varianta	Investice (Kč)	Úspora za 20 let provozu (Kč)
0	0	0
1	581 051	2 327 107
2	6 146 799	17 560 494
3	6 727 850	19 887 601
4	6 726 999	26 025 495
5	6 845 855	25 906 639
6	7 308 049	29 791 091
7	8 142 466	20 351 245
8	8 723 516	23 420 425

Přehledové tabulky pro dobu návratnosti v tabulkách č. 16 a 17 a úspory financí za 20 let provozu v tabulkách č. 18 a 19. Porovnáním obou tabulek vidíme, že náklady jsou podobné samozřejmě poměrově vyšší u větší budovy a to jak investice, tak i úspora. Ceny v následující kapitole jsou uváděny pro dům o 6 NP.

Výsledky doby návratnosti obou domů lze hodnotit, jako prakticky stejné což znamená, že výše investic odpovídá míře úspory energie. Prodloužení doby návratnosti lze vysvětlit tím, že nebyly použity stejné komponenty při navrhování soustavy od stejného výrobce. Nebylo možné použít stejného výrobce například u akumulčních nádrží, protože stejný výrobce nezajišťoval vyhovující dimenze výrobku.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 1. Referenční varianta 0 je nezateplený objekt se zdrojem tepla v podobě CZT jak pro přípravu teplé vody, tak pro

vytápění. Varianta č. 1 tvoří rozšíření o solární systém pro přípravu teplé vody. Objekt zůstává nezateplen. Doba návratnosti v podobě solárního systému je 5 let v porovnávaných variantách se jedná o nejnižší investované náklady. Investice do solárního systému 581 050 přinese za 20 let provozu 2 456 627 Kč.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 2. Varianta č. 2 je definovaná jako zateplený objekt se zachovaným zdrojem tepla pro přípravu teplé vody a pro vytápění v podobě CZT. Doba návratnosti investic do zateplení a výměny oken je vrácena za 6,5 let. Pořizovací cena rekonstrukce celé budovy činí 3 095 778 Kč za 20 let provozu se jedná o úsporu 8 084 545 Kč.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 3. Variantu č. 3 tvoří zateplení objektu s výměnou oken a instalovaným solárním systémem. Zdroj tepla pro přípravu teplé vody a vytápění je CZT. Doba návratnosti investic do zateplení a solárního systému je 6 let. Investice do zateplení a solárního systému stojí 3 676 829 Kč, za 20 let přinese úsporu 10 541 172 Kč.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 4. Varianta č. 4 je stanovena jako zateplený objekt s vyměněnými okny. Zdroj tepla je navržen v podobě kondenzační plynové kotelny. Kaskáda dvou kotlů zajišťuje vytápění a samostatný kotel je určen pro přípravu teplé vody pomocí nepřímě topeného akumulárního zásobníku. Doba návratnosti počátečních investic při použití daných opatření je 5,5 let. Počáteční investice do technologie plynové kotelny a zateplení činila 3 449 878 Kč za dobu 20 let provozu přinese úsporu 12 179 606 Kč.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 5. Varianta č. 5 přinesla změnu pouze v přípravě teplé vody, kdy byla užita výměňková sada s akumulární nádrží počítaná v kapitole č. 7.1.2. Součtový výkon instalovaných spotřebičů v kotelně přesáhl 100 kW a je proto nutné přijmout opatření předepsaná pro kotelnu III. kategorie. Doba návratnosti v této variantě se nepatrně prodloužila zmiňovanou investicí na 6 let.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 6. Varianta č. 6 je definovaná jako zateplený objekt s proběhlou výměnou oken. Plynová kondenzační kotelna je navržena jako zdroj tepla pro přípravu teplé vody a vytápění. Příprava teplé vody akumulárním nepřímě topeným zásobníkem je doplněna solárním systémem. Doba návratnosti po vyšších investičních nákladech poklesla na 5 let. Investice do technologie plynové

kotelny se solárním systémem a zateplení činníla 4 030 928 Kč přinese úsporu za 20 let provozu 12 874 867 Kč.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 7. Varianta č. 7 je definovaná jako objekt po rekonstrukci obvodového pláště. Zdroj tepla byl navržen jako tepelné čerpadlo vzduch/voda pro vytápění a samostatné tepelné čerpadlo na přípravu teplé vody. Návratnost počátečních investic je za 7,5 let. Počáteční investice do technologie a zateplení 4 567 060 za dobu provozu 20let se uspoří finance v hodnotě 12 987 579Kč.

Porovnání referenční varianty 0 a varianty č. 8. Zdroj tepla pro přípravu teplé vody byl doplněn solární systémem. Počáteční velmi vysoké investice jsou navraceny za dobu 7 let. Tato varianta není moc často zastoupena. Počáteční investice do zdroje tepla je i se zateplením 5 061 660 Kč po 20 letech provozu činní úspora 13 674 241 Kč.

## 13. Závěr

Panelové domy stojící v Praze Praze 5 Barandov o velikosti 6 NP a 12 NP byli zatepleni, vyměněny okna, instalována vzduchotechnická jednotka pro nucené větrání. Pro změněny a původní stav obou domů byla vypočtena tepelná ztráta spolu s potřebou energie pro zvolenou technologii přípravy tepla. Zdroje tepla byly navrženy dle vypočtené tepelné ztráty. Uvažovaná řešení přípravy tepla pro vytápění jsou centralizované zásobování teplem, plynová kondenzační kotelna, tepelná čerpadla typu vzduch/voda. Příprava teplé vody je řešena nepřímo topným zásobníkem se samostatným zdrojem tepla. Zdroje tepla pro přípravu teplé vody jsou: centralizované zásobování teplem, plynový kondenzační kotel, tepelné čerpadlo, elektro kotel. Přehřev teplé vody byl volen v některých variantách pomocí solárního termického systému. Jednotlivé technologie přípravy tepla nesla řadu dalších řešení, která měla svá pozitiva i negativa. Tepelná čerpadla byla doplněna o akumulární nádobu, která zvětšila objem vody v soustavě, a proto byly zapotřebí zvětšit expanzní nádoba. Teplotní spád pro tepelná čerpadla byl odlišný z důvodu zlepšení účinnosti.

Otopná tělesa nebyla v této práci primárně řešena. Předpoklad byl zachování otopných těles z původního projektu nicméně bylo nutné vzít i tento aspekt v potaz při navrhování nového zdroje tepla. Plynová kondenzační kotelna pracovala se shodnou plochou otopných těles jako před rekonstrukcí budovy. Zmenšení tepelné ztráty zateplením a zachování plochy otopných těles vedlo ke snížení teplotního spádu otopné soustavy na 60/40°C. Teplotní spád tepelného čerpadla byl zvolen 50/35°C pro lepší stupeň využití. Změna teplotního spádu vedla na návrh nových otopných těles pro zachování tepelné pohody v místnosti. Rozdíl cen původních otopných těles a nově instalovaných byl započítán k nákladům na pořízení technologie tepelného čerpadla.

### 13.1 Centralizované zásobování teplem

Původní zdroj tepla v podobě CZT je centrálně řízený zdroj který dosahuje větší účinnosti díky větším výkonům. Je čistší než individuální zdroj tepla a bezpečnější. Další výhodou je jednodušší obsluha zařízení. Mezi nevýhody patří mnohdy zastaralé rozvody, vysoké pořizovací náklady, změna tepelně technických vlastností budov (zateplování), neefektivní provoz při nerovnoměrném vytížení.

## 13.2 Plynová kotelna

Plynová kotelna je z hlediska pořizovacích nákladů nejlevnější variantou při výměně technologie přípravy tepla a teplé vody. Opatření které je nezbytné pro tuto technologii a zároveň zvyšuje její pořizovací náklady jako je dodatečná výstavba komínového tělesa na fasádě budovy, přípojka plynu. Pokud se jedná o kotelnu III kategorie jsou nutná již definovaná opatření která taktéž zvyšují pořizovací cenu této technologie. Existuje určité riziko havárie, poruchy může dojít při porušení určitých zásad i k ublížení na zdraví nebo úmrtí. Nutností jsou pravidelné revize nejen zdrojů tepla ale i komínového tělesa. Jedná se o poměrně účinný zdroj tepla s krátkou dobou návratnosti pro bytový dům.

## 13.3 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo dynamicky se rozvíjející zdroj tepla těšící se stále větší oblibě i přes značné pořizovací náklady. Užitý typ tepelného čerpadla byl vzduch/ voda v podobě venkovní instalace. Výhodou toho typu je že ušetříme místo v technické místnosti protože takřka veškerá technologie je umístěna ve venkovní instalaci čerpadla. Nízká spotřeba energie dělá ten to zdroj tepla zajímavým z hlediska doby návratnosti. Tepelné čerpadlo užitě jako zdroj tepla je výhodné z hlediska dodávky elektrické energie. Při instalaci tepelného čerpadla je možné zažádat dodavatel elektrické energie o speciální tarif D56d pro tepelná čerpadla kdy doba vysokého tarifu denně činí 2 hodiny a doba nízkého tarifu 22 hodin. Speciální tarif nabízí úsporu financí i při běžném chodu domácnosti jako je svícení, praní, vaření atd. prakticky je úspora ještě o něco vyšší když vezmeme v potaz kolik je v domácnosti elektrických spotřebičů. Výraznou nevýhodou je již zmiňovaná pořizovací cena ale i také poměrně značná produkce hluku. Hluk je nutné eliminovat již ve fázi projektování, aby nedocházelo k rušení sousedních obyvatel, je nutné brát v potaz okolní zástavbu. Eliminace hluku je možná i posléze různými zákryty zástěnami a podobně. Akumulační nádoba je vhodným doplněním zdroje tepla pro tepelné čerpadlo zvyšuje ale tak i celkový objem v soustavě. Větší objem v soustavě má za následek větší objem expanzní nádoby a prostorové nároky na instalované vybavení v technické místnosti.



## 13.4 Solární systém

Solární systém je vhodným doplňkem pro přípravu teplé vody pomocí obnovitelných zdrojů energie. Úspora energie na přípravu teplé vody zajištěná solárním systémem činí 31 %. Solární panely nezabírají půdu nebo nehyzdí ráz krajiny, protože jsou instalovány na střeše budovy. Nároky na prostor v technické místnosti jsou ovšem znatelné kvůli instalaci rozměrné akumulární nádoby a řídicího systému s expanzní nádobou.

Aspekty vstupující do volby technologie pro vytápění a přípravu teplé vody je celá řada. Vhodná volba zdroje tepla závisí na rázu krajiny, kde se objekt nachází. Významnou roli hrají také finanční možnosti investora a jeho orientace v dané problematice. Každá z probíraných variant přináší určité výhody a nevýhody pro řešení dané situace. Neposledním bodem, kterým by se měl každý projektant zabývat je nejen ekonomický ale také ekologický dopad daného řešení na okolí. Směrem, kterým se ubírá celá naše společnost je nutné akceptovat ale i vnímat jeho dopad na okolí a přírodu jako takovou.

## POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Technická zařízení budov (oline). Tepelná pohoda a nepohoda článek z 13.10.2000  
<http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [2] Janda M.: Odborný článek: Panelstory aneb kde se vzala sídliště časopisu 21století.Cz <https://21století.cz/2017/05/20/panelstory-aneb-kde-se-vzala-sidliste/>
- [3] Liptak M. :Paneláky.info šéfredaktor  
<http://panelaky.info/op1-11/>
- [4] Bašta J.,Kabele K.: Otopné soustavy teplovodní. Nakladatelství: Společnost pro techniku prostředí 1998. ISBN 80-02-01254-2.
- [5] Elektronický katalog výrobce Mirel Vratimov a.s.  
<http://www.mirelon.com/cz/termoizolacni-trubice-mirelon-pro-wp000280.html>
- [6] Bašta J.: Otopné plochy- otopná tělesa: Vydalo České vysoké učení technické v Praze Česká technika. 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [7] Elektronický katalog otopných těles Korádo  
<https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vk.html>
- [8] Barták M.: Úvod do přenosových jevů pro Inteligentní budovy 2010
- [9] Moodyho diagram  
<http://www.dept.aoe.vt.edu/~jschetz/fluidnature/unit07/unit7f.html>
- [10] Laboutka K. Suchánek T.: Výpočtové tabulky pro vytápění vztahy a pomůcky Společnost pro techniku prostředí sekce vytápění 2001 ISB 80-02-01466-9
- [11] Vavříčka R.: Podklady pro přednášky k předmětu Zdravotně technické instalace.
- [12] Vavříčka R.: Odborný článek, Metody návrhu zásobníku teplé vody  
<https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>
- [13] Matuška. T.: Přednášky základy zásobování teplem

- [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page\\_id=534](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=534)
- [14] Katalog firmy Buderus - plynové kotle  
[https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/wall\\_mounted\\_boilers/pp\\_gb192it\\_2016\\_cz\\_cz.pdf](https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/wall_mounted_boilers/pp_gb192it_2016_cz_cz.pdf)
- [15] Katalog firmy Buderus - tepelná čerpadla  
[https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/heat\\_pumps/wpl\\_2016\\_cz.pdf](https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/heat_pumps/wpl_2016_cz.pdf)
- [16] Katalog firmy Buderus - solární technika  
[https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/solar\\_technology/pp\\_logasol\\_2017\\_cz\\_cz.pdf](https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/solar_technology/pp_logasol_2017_cz_cz.pdf)
- [17] Bašta J.: Regulace v technice prostředí staveb Vydalo České vysoké učení technické v Praze Česká technika. 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [18] Bašta J.: Hydraulika a řízení otopných soustav Vydalo České vysoké učení technické v Praze Česká technika. 2003. ISBN 80-01-02808-9.
- [19] Vavříčka R.: Předmět vytápění: Návrh pojistného a zabezpečovacího zařízení.  
[http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/003\\_Pojistne\\_a\\_zabezpecovaci\\_zarizeni.pdf](http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/003_Pojistne_a_zabezpecovaci_zarizeni.pdf)
- [20] Vavříčka R.: Předmět vytápění: Výpočet potřeby tepla a paliva  
[http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/002\\_Potreba\\_tepla.pdf](http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Otopné těleso Radik Klasik-R .....	28
Obr. 2 Moodyho diagram třecích ztrát v potrubí 9 .....	33
Obr. 3 Diagram stupně přednastavení regulačního šroubení .....	38
Obr. 4 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Magna 3 25-60 .....	40
Obr. 5 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Alpha2 L 25-40 .....	41
Obr. 6 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Magna 3 25-40 .....	42
Obr. 7 Tlaková charakteristika oběhového čerpadla Magna 3 25-40 .....	42
Obr. 8. Studie VZT v 1.NP pro byt B1 .....	43
Obr. 9. Křivka dodávky a odběru teplé vody pro dům o 6 NP .....	46
Obr. 10 Schéma výměňkové sady Logalux LSP .....	48
Obr. 11. Křivka dodávky a odběru teplé vody pro 12. NP dům .....	49
Obr. 12 Tlaková charakteristika cirkulační čerpadla Alpha 2 25-40 N 130 .....	53
Obr. 13 Tlaková charakteristika cirkulační čerpadla Alpha 2 25-60 N 130 .....	54
Obr. 14 Stavební sada GAF-K .....	58
Obr. 15 Diagram návrhu tepelného čerpadla WPL vytápění 6 NP .....	60
Obr. 16 Diagram návrhu tepelného čerpadla WPL teplá voda 6 NP .....	60
Obr. 17 Diagram návrhu tepelného čerpadla WPL vytápění 12 NP .....	61
Obr. 18 .....	72
Obr. 19 Doba návratnosti jednotlivých variant .....	72
Obr. 20 Investiční náklady jednotlivých variant .....	74
Obr. 21 Doba návratnosti jednotlivých variant .....	75

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled tepelných ztrát v jednotlivých místnostech Bytu B1 před rekonstrukcí.	20
Tab. 2 Přehled tepelných ztrát v jednotlivých místnostech Bytu B1 po rekonstrukci....	20
Tab. 3 Přehled navržených otopných těles Radik Klasik R v bytě B1 1. NP .....	29
Tab. 4. Nastavení vyvažovacích ventilu STAD východní větev .....	36
Tab. 5. Nastavení vyvažovacích ventilu STAD západní větev.....	36
Tab. 6 Nastavení vyvažovacích ventilu STAD východní větev .....	37
Tab. 7 Nastavení vyvažovacích ventilu STAD západní větev.....	37
Tab. 8. Odběr teplé vody podle aproximativní křivky pro bytový dom .....	45
Tab. 9 Potřeba tepla různých odběrných míst.....	47
Tab. 10 Potřeba tepla pro dům o 6 NP na vytápění .....	68
Tab. 11 Potřeba tepla na přípravu teplé vody v 6 NP .....	68
Tab. 12 Potřeba tepla pro dům o 12 NP na vytápění .....	69
Tab. 13 Potřeba tepla na přípravu teplé vody v 12 NP .....	69
Tab. 14 Doba návratnosti pro 6 NP .....	73
Tab. 15 Doba návratnosti pro 12 NP .....	75
Tab. 16 Doba návratnosti pro 6 NP .....	76
Tab. 17 Doba návratnosti pro 12 NP .....	76
Tab. 18 Investice x. úspora pro 6 NP      Tab. 19 Investice x úspora pro 12 NP .....	76

## SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍLOH

P 1. Tabulka tepelných ztrát pro dům o 6 NP před zateplením a po zateplení .....	87
P 2. Tabulka tepelných ztrát pro dům o 12 NP před zateplením a po zateplení .....	87
P 3. Návrh cirkulačního potrubí pro stoupací potrubí V1 .....	88
P 4. Návrh stoupacího potrubí 01 pro dům o 6 NP .....	88
P 5. Návrh akumulčního zásobníku pro dům 6 NP .....	89
P 6. Návrh akumulčního zásobníku pro dům 12 NP .....	90

## P 1. Tabulka tepelných ztrát pro dům o 6 NP před zateplením a po zateplení

Podlaží	Tepelná ztráta před zateplením	
1.PP	5 550	W
1.NP	25 368	W
2.NP	21 400	W
3.NP	21 400	W
4.NP	21 400	W
5.NP	21 400	W
6.NP	24 509	W
Celkem	<b>141 026</b>	W

Podlaží	Tepelná ztráta po zateplení	
1.PP	2 089	W
1.NP	11 154	W
2.NP	6 114	W
3.NP	6 114	W
4.NP	6 114	W
5.NP	6 114	W
6.NP	7 513	W
Celkem	<b>45 214</b>	W

## P 2. Tabulka tepelných ztrát pro dům o 12 NP před zateplením a po zateplení

Podlaží	Tepelná ztráta před zateplením	
1.PP	12 496	W
1.NP	23 262	W
2.NP	20 122	W
3.NP	20 122	W
4.NP	20 122	W
5.NP	20 122	W
6.NP	20 122	W
7.NP	20 122	W
8.NP	20 122	W
9.NP	20 122	W
10.NP	20 122	W
11.NP	20 122	W
12.NP	23 231	W
Celkem	<b>260 207</b>	W

Podlaží	Tepelná ztráta po zateplení	
1.PP	2 261	W
1.NP	10 640	W
2.NP	5 872	W
3.NP	5 872	W
4.NP	5 872	W
5.NP	5 872	W
6.NP	5 872	W
7.NP	5 872	W
8.NP	5 872	W
9.NP	5 872	W
10.NP	5 872	W
11.NP	5 872	W
12.NP	7 017	W
Celkem	<b>78 634</b>	W

## P 3. Návrh cirkulačního potrubí pro stoupací potrubí VI

	Qd	D	u	l	qz	tv	ti	Qz	R	$\Delta p_{zt}$	$\Sigma \xi$	$\Delta p_{zm}$	$\Delta p_{zc}$
usek/Qa	(l/s)	mm	m/s	m	W	°C	°C	(W)	kPa	kPa	-	kPa	Pa
1	0,35	20x2,8	0,162	2,8	6,8	55	20	18,33	0,065	0,182	0,6	0,008	189,8
2	0,49	32x5,4	0,099	2,8	10,8	55	20	24,87	0,006	0,017	0,6	0,003	19,7
3	0,60	32x5,4	0,099	2,8	10,8	55	20	24,87	0,006	0,017	0,6	0,003	19,7
4	0,69	40x6,7	0,063	2,8	11,1	55	20	25,81	0,003	0,008	0,6	0,001	9,6
5	0,77	40x6,7	0,063	2,8	11,1	55	20	25,81	0,003	0,008	0,6	0,001	9,6
6	0,85	40x6,7	0,063	2,8	11,1	55	20	25,81	0,003	0,008	0,6	0,001	9,6
7	0,85	40x6,7	0,063	2,3	11,1	55	20	21,20	0,003	0,007	1,5	0,003	9,9
8	1,70	50x6,9	0,034	10,6	18,4	55	20	114,42	0,002	0,021	2,5	0,001	22,6
9	3,39	75x10,4	0,015	0,5	24,7	55	20	7,34	0,001	0,001	3,5	0,000	0,9
	Q(l/s)	D											
C1	0,035	20x2,7	0,21	17,8	8,1	55	20	130,45	0,065	1,157	3	0,069	1226,1
C5	0,070	25x3,4	0,27	10,6	13,2	55	5	127,66	0,07	0,742	3	0,113	855,3
C7	0,105	25x3,4	0,41	5,4	13,2	55	5	65,04	0,131	0,707	3	0,255	962,2
C8	0,140	25x3,4	0,55	3,3	13,2	55	5	39,74	0,238	0,785	3	0,453	1238,4
C6	0,140	25x3,4	0,55	2,3	12,5	55	5	26,26	0,238	0,547	4	0,604	1151,4

## P 4. Návrh stoupacího potrubí 01 pro dům o 6 NP

	m(kg/s)	D <sub>xs</sub>	q	l	Qz	R	$\Delta p_{zt}$	$\Sigma \xi$	$\Delta p_{zc}$
Podlaží	(kg/s)	mm	W/mK	m	W	Pa/m	Pa	-	Pa
6	0,006	18x1	6,94	2,8	19	4,65	13	21,0	9
5	0,012	18x1	6,94	2,8	19	12,5	35	2,8	5
4	0,017	18x1	6,94	2,8	19	45,6	128	1,8	7
3	0,023	18x1	6,94	2,8	19	69,5	195	1,2	8
2	0,029	18x1	6,94	2,8	19	112	314	1,9	19
1	0,048	18x1	6,94	2,8	19	44	123	0,5	13
0	0,048	18x1	10,54	9,1	96	57	519	3,0	84



## P 5. Návrh akumulčního zásobníku pro dům 6 NP

hodina	ztráty (-)	Ztráty (kWh)	Odběr (-)	Potřeba tepla (-)		Aproximativní (kWh)	Dodávka tepla (kWh)
0	0	0	0	0	0	0	20
1	0,01	2,72	0,00	0,01		2,72	20
2	0,03	5,44	0,00	0,03		5,44	20
3	0,04	8,16	0,00	0,04		8,16	20
4	0,05	10,89	0,00	0,05		10,89	20
5	0,06	13,61	0,00	0,06		13,61	40
6	0,08	16,33	0,00	0,08		16,33	40
7	0,09	19,05	0,04	0,12	0,6	26,67	40
8	0,10	21,77	0,07	0,17		37,01	55
9	0,11	24,49	0,11	0,22		47,35	70
10	0,13	27,21	0,14	0,27		57,69	85
11	0,14	29,94	0,18	0,31		68,04	100
12	0,15	32,66	0,21	0,36		78,38	115
13	0,16	35,38	0,25	0,41		88,72	130
14	0,18	38,10	0,28	0,46		99,06	130
15	0,19	40,82	0,32	0,50		109,40	130
16	0,20	43,54	0,35	0,55		119,74	145
17	0,21	46,26	0,39	0,60		130,08	160
18	0,23	48,99	0,42	0,65	140,43	175	
19	0,24	51,71	0,47	0,70	0,4	153,31	190
20	0,25	54,43	0,51	0,76		166,19	205
21	0,26	57,15	0,56	0,82		179,07	220
22	0,28	59,87	0,61	0,88		191,95	220
23	0,29	62,59	0,65	0,94		204,83	235
24	0,30	65,31	0,70	1,00		217,71	250

## P 6. Návrh akumulčního zásobníku pro dům 12 NP

hodina	ztráty (-)	Ztráty (kWh)	Odběr (-)	Potřeba tepla (-)		Aproximativní (kWh)	Dodávka tepla (kWh)
0	0	0	0	0	0	0	40
1	0,01	5,44	0,00	0,01		5,44	40
2	0,03	10,89	0,00	0,03		10,89	40
3	0,04	16,33	0,00	0,04		16,33	40
4	0,05	21,77	0,00	0,05		21,77	40
5	0,06	27,21	0,00	0,06		27,21	40
6	0,08	32,66	0,00	0,08		32,66	70
7	0,09	38,10	0,04	0,12	0,6	53,34	100
8	0,10	43,54	0,07	0,17		74,02	130
9	0,11	48,99	0,11	0,22		94,71	160
10	0,13	54,43	0,14	0,27		115,39	160
11	0,14	59,87	0,18	0,31		136,07	190
12	0,15	65,31	0,21	0,36		156,75	220
13	0,16	70,76	0,25	0,41		177,44	220
14	0,18	76,20	0,28	0,46		198,12	250
15	0,19	81,64	0,32	0,50		218,80	280
16	0,20	87,09	0,35	0,55		239,48	310
17	0,21	92,53	0,39	0,60		260,17	310
18	0,23	97,97	0,42	0,65	280,85	340	
19	0,24	103,41	0,47	0,70	0,4	306,61	370
20	0,25	108,86	0,51	0,76		332,38	400
21	0,26	114,30	0,56	0,82		358,14	430
22	0,28	119,74	0,61	0,88		383,90	460
23	0,29	125,19	0,65	0,94		409,66	490
24	0,30	130,63	0,70	1,00		435,43	520